

ADAMS & WILKS
ATTORNEYS AND COUNSELORS AT LAW
50 BROADWAY
31st FLOOR
NEW YORK, NEW YORK 10004

BRUCE L. ADAMS
VAN C. WILKS

JOHN R. BENEFIEL
PAUL R. HOFFMAN
TAKESHI NISHIDA
FRANCO S. DE LIGUORI

* NOT ADMITTED IN NEW YORK
* REGISTERED PATENT AGENT

RIGGS T. STEWART
(1924-1993)

TELEPHONE
(212) 809-3700

FACSIMILE
(212) 809-3704

APRIL 26, 2004

COMMISSIONER FOR PATENTS
Washington, DC 20231

Re: Patent Application of Toshiaki KAWASHIMA
Serial No. 10/803,776 Filing Date: March 18, 2004
Examiner: Group Art Unit:
Docket No. S015-5121

S I R:

The above-identified application was filed claiming the right of priority based on the following foreign application(s).

1. Japanese Patent Appln. No. 2003-075303 filed March 19, 2003
2. Japanese Patent Appln. No. filed
3. Japanese Patent Appln. No. filed
4. Japanese Patent Appln. No. filed
5. Japanese Patent Appln. No. filed
6. Japanese Patent Appln. No. filed
7. Japanese Patent Appln. No. filed
8. Japanese Patent Appln. No. filed
9. Japanese Patent Appln. No. filed
10. Japanese Patent Appln. No. filed
11. Japanese Patent Appln. No. filed

Certified copy(s) are annexed hereto and it is requested that these document(s) be placed in the file and made of record.

MAILING CERTIFICATE

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first-class mail in an envelope addressed to: COMMISSIONER OF PATENTS & TRADEMARKS, Washington, DC 20231, on the date indicated below.

DEBRA BUONINCONTRI

Name

Debra Buonincontri

Signature

APRIL 26, 2004

Date

BLA: db
Enclosures

Respectfully submitted,

ADAMS & WILKS
Attorneys for Applicant(s)

By:

Bruce L. Adams
Reg. No. 25,386

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 1 9 日
Date of Application:

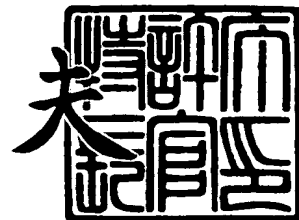
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 7 5 3 0 3
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 7 5 3 0 3]

出 願 人 B O C エドワーズ株式会社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 4 月 1 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 2002-017

【提出日】 平成15年 3月19日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H02N 15/00
F16C 32/04
F04D 19/04

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県習志野市屋敷 4 - 3 - 1 ビーオーシーエドワーズテクノロジーズ株式会社内

【氏名】 川島 敏明

【特許出願人】

【識別番号】 502109614

【氏名又は名称】 ビーオーシーエドワーズテクノロジーズ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100105201

【弁理士】

【氏名又は名称】 椎名 正利

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 053154

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したポンプ装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 回転体と、

該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を電磁石により制御する位置制御手段と、

前記電磁石を励磁駆動し、かつ該電磁石の励磁駆動を制御する励磁駆動制御回路とを備えた磁気軸受装置であって、

前記励磁駆動制御回路は、

第 1 の電位を発生する第 1 の電源と、

前記第 1 の電位よりも低い電位である第 2 の電位を発生する第 2 の電源と、

前記第 1 の電源又は前記第 2 の電源を選択可能であるとともに、該選択された電源から供給された電流により前記電磁石の励磁駆動を行う励磁駆動手段と、

該励磁駆動手段における電源の選択を所定の動作モードに応じて選択する選択制御手段とを備えたことを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項 2】 前記電磁石の電流又は磁束を検知する電流／磁束検知手段と

、
該電流／磁束検知手段で検知した電流又は磁束の変化に基づき、所定の指数値への演算を行う演算手段と、

該演算手段で演算された指数値が、基準の指数値である基準指数値以上か否かを判断する指数値判断手段とを備え、

前記選択制御手段は、

前記指数値判断手段で前記指数値が前記基準指数値以上であると判断されたとき、前記第 1 の電源を選択することを特徴とする請求項 1 記載の磁気軸受装置。

【請求項 3】 前記指数値は、

所定期間内における前記電磁石の電流又は磁束の時間微分値あるいは増減値又は前記所定期間よりも長い期間内における前記時間微分値の平均値あるいは前記増減値の平均値のいずれかであることを特徴とする請求項 2 記載の磁気軸受装置。

【請求項 4】 前記回転体の回転数を検知する回転数検知手段と、

該回転数検知手段で検知された回転数が、所定範囲の回転数であるか否かを判断する回転数判断手段とを備え、

前記選択制御手段は、

前記回転数判断手段で前記回転数検知手段で検知された回転数が前記所定範囲の回転数であると判断されたとき、前記第1の電源を選択することを特徴とする請求項1、2又は3記載の磁気軸受装置。

【請求項5】 前記所定範囲は、

前記回転体の回転加速時に通過する共振点を含むことを特徴とする請求項4記載の磁気軸受装置。

【請求項6】 前記励磁駆動手段は、

前記第1の電源の第1の電位を発生する正極に一端が接続され、かつ前記電磁石の一端に他端が接続された第1のスイッチ素子と、

該第1のスイッチ素子の他端に順方向出口端が接続され、かつ負極に順方向入口端が接続された第1の整流素子と、

前記電磁石の他端に一端が接続され、かつ前記負極に他端が接続された第2のスイッチ素子と、

該第2のスイッチ素子の一端に順方向入口端が接続され、かつ前記第1の電源の正極に順方向出口端が接続された第2の整流素子と、

前記第2の電源の第2の電位を発生する正極に一端が接続された第3のスイッチ素子と、

該第3のスイッチ素子の他端に順方向入口端が接続され、かつ前記電磁石の一端に順方向出口端が接続された第3の整流素子と、

前記第2の電源の正極に一端が接続された第4のスイッチ素子と、

該第4のスイッチ素子の他端に順方向出口端が接続され、かつ前記電磁石の他端に順方向入口端が接続された第4の整流素子とを備え、

前記電流／磁束検知手段は、

前記電磁石、前記第1のスイッチ素子、前記第2のスイッチ素子、前記第3のスイッチ素子、前記第4のスイッチ素子、前記第1の整流素子、前記第2の整流素子、前記第3の整流素子及び前記第4の整流素子のうち少なくとも1の素子に対

して直列に接続され、該接続された前記素子に流れる電流を検出する電流検出回路を備え、

前記選択制御手段は、

前記第1のスイッチ素子、前記第2のスイッチ素子、前記第3のスイッチ素子及び前記第4のスイッチ素子を断接することを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の磁気軸受装置。

【請求項7】 前記選択制御手段は、

前記第1の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を増加させるために、前記第1のスイッチ素子及び前記第2のスイッチ素子をonにし、

前記第1の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を減少させるために、前記第1のスイッチ素子、前記第2のスイッチ素子、前記第3のスイッチ素子及び前記第4のスイッチ素子をoffにし、

前記第1の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を一定に保つために、前記第2のスイッチ素子をonにし、かつ前記第1のスイッチ素子及び前記第3のスイッチ素子をoffにし、あるいは前記第1のスイッチ素子をonにし、かつ前記第2のスイッチ素子及び前記第4のスイッチ素子をoffにし、前記第2の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を増加させるために、前記第2のスイッチ素子及び前記第3のスイッチ素子をonにし、かつ前記第1のスイッチ素子をoffにし、

前記第2の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を減少させるために、前記第4のスイッチ素子をonにし、かつ前記第1のスイッチ素子、前記第2のスイッチ素子及び前記第3のスイッチ素子をoffにし、

前記第2の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を一定に保つために、前記第2のスイッチ素子をonにし、かつ前記第1のスイッチ素子及び前記第3のスイッチ素子をoffにし、あるいは前記第3のスイッチ素子及び前記第4のスイッチ素子をonにし、かつ前記第1のスイッチ素子及び前記第2のスイッチ素子をoffにすることを特徴とする請求項6記載の磁気軸受装置。

【請求項8】 前記励磁駆動手段は、

第1のノードに一端が接続され、かつ前記電磁石の一端に他端が接続された第1

のスイッチ素子と、

該第 1 のスイッチ素子の他端に順方向出口端が接続され、かつ負極に順方向入口端が接続された第 1 の整流素子と、

前記電磁石の他端に一端が接続され、かつ前記負極に他端が接続された第 2 のスイッチ素子と、

該第 2 のスイッチ素子の一端に順方向入口端が接続され、かつ第 2 のノードに順方向出口端が接続された第 2 の整流素子と、

前記第 1 の電源の第 1 の電位を発生する正極に一端が接続され、かつ前記第 1 のノードに他端が接続された第 3 のスイッチ素子と、

該第 3 のスイッチ素子の他端に順方向出口端が接続され、かつ前記第 2 の電源の第 2 の電位を発生する正極に順方向入口端が接続された第 3 の整流素子と、

前記第 2 の電源の正極に一端が接続され、かつ前記第 2 のノードに他端が接続された第 4 のスイッチ素子と、

該第 4 のスイッチ素子の他端に順方向入口端が接続され、かつ前記第 1 の電源の正極に順方向出口端が接続された第 4 の整流素子とを備え、

前記電流／磁束検知手段は、

前記電磁石、前記第 1 のスイッチ素子、前記第 2 のスイッチ素子、前記第 3 のスイッチ素子、前記第 4 のスイッチ素子、前記第 1 の整流素子、前記第 2 の整流素子、前記第 3 の整流素子及び前記第 4 の整流素子のうち少なくとも 1 の素子に対して直列に接続され、該接続された前記素子に流れる電流を検出する電流検出回路を備え、

前記選択制御手段は、

前記第 1 のスイッチ素子、前記第 2 のスイッチ素子、前記第 3 のスイッチ素子及び前記第 4 のスイッチ素子を断接することを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の磁気軸受装置。

【請求項 9】 前記励磁駆動手段は、

前記第 1 の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を増加させるために、前記第 1 のスイッチ素子、前記第 2 のスイッチ素子及び前記第 3 のスイッチ素子を on にし、

前記第 1 の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を減少させるために、前記第 1 のスイッチ素子、前記第 2 のスイッチ素子及び前記第 4 のスイッチ素子を o f f にし、

前記第 1 の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を一定に保つために、前記第 2 のスイッチ素子を o n にし、かつ前記第 1 のスイッチ素子を o f f にし、あるいは前記第 1 のスイッチ素子及び前記第 3 のスイッチ素子を o n にし、かつ前記第 2 のスイッチ素子及び前記第 4 のスイッチ素子を o f f にし、前記第 2 の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を増加させるために、前記第 1 のスイッチ素子及び前記第 2 のスイッチ素子を o n にし、かつ前記第 3 のスイッチ素子を o f f にし、

前記第 2 の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を減少させるために、前記第 4 のスイッチ素子を o n にし、かつ前記第 1 のスイッチ素子及び前記第 2 のスイッチ素子を o f f にし、

前記第 2 の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を一定に保つために、前記第 2 のスイッチ素子を o n にし、かつ前記第 1 のスイッチ素子を o f f にし、あるいは前記第 1 のスイッチ素子及び前記第 4 のスイッチ素子を o n にし、かつ前記第 2 のスイッチ素子及び前記第 3 のスイッチ素子を o f f にすることを特徴とする請求項 8 記載の磁気軸受装置。

【請求項 10】 前記電磁石は、複数個設けられており、前記励磁駆動制御回路は、前記複数個の電磁石をそれぞれ独立に制御するとともに、

該励磁駆動制御回路においては、前記複数個の電磁石に対する前記第 1 のノード同士及び／又は該複数個の電磁石に対する前記第 2 のノード同士は、共通であることを特徴とする請求項 8 又は請求項 9 記載の磁気軸受装置。

【請求項 11】 回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を電磁石により制御する位置制御手段と、

前記電磁石を励磁駆動し、かつ該電磁石の励磁駆動を制御する励磁駆動制御回路とを備えた磁気軸受装置であって、

前記励磁駆動制御回路は、

2以上の電位を発生するN個の電源と、

該N個の電源のいずれか1個を選択可能であるとともに、該選択された電源から

供給された電流により前記電磁石の励磁駆動を行う励磁駆動手段と、

該励磁駆動手段における電源の選択を所定の動作モードに応じて選択する選択制御手段とを備えたことを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項12】 請求項1～11のいずれか1項に記載の磁気軸受装置を搭載したポンプ装置であって、

該ポンプ装置は、

被対象設備に接続され、かつ該被対象設備から所定のガスを吸引することを特徴とするポンプ装置。

【請求項13】 前記被対象設備における作業内容が予め決められた作業内容であるか否かを判断する作業内容判断手段を備え、

前記選択制御手段は、

前記作業内容判断手段で前記被対象設備における作業内容が前記予め決められた作業内容であると判断されたとき、前記第2の電源を選択することを特徴とする請求項12記載のポンプ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したポンプ装置に係わり、特に、高速かつ強い力で回転体の位置制御を可能にしつつ、ポンプ装置から生じる振動を低減し、かつポンプ装置から生じる電氣的・磁氣的なノイズを減らすことのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したポンプ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年のエレクトロニクスの発展に伴い、メモリや集積回路といった半導体の需要が急激に増大している。

これらの半導体は、極めて純度の高い半導体基板に不純物をドーピングして電氣的

性質を与えたり、半導体基板上に微細な回路パターンを形成し、これを積層するなどして製造される。

そして、これらの作業は空気中の塵等による影響を避けるため高真空状態のチャンバ内で行われる必要がある。このチャンバの排気には、一般にポンプ装置として真空ポンプが用いられているが、特に残留ガスが少なく、保守が容易である等の点から真空ポンプの中の一つであるターボ分子ポンプが多用されている。

【0003】

また、半導体の製造工程では、さまざまなプロセスガスを半導体の基板に作用させる工程が数多くあり、ターボ分子ポンプはチャンバ内を真空にするのみならず、これらのプロセスガスをチャンバ内から排気するのにも使用される。

さらに、ターボ分子ポンプは、電子顕微鏡等の設備において、粉塵等の存在による電子ビームの屈折等を防止するため、電子顕微鏡等のチャンバ内の環境を高度の真空状態にするのにも用いられている。

【0004】

このターボ分子ポンプの縦断面図を図7に示す。

図7において、ターボ分子ポンプ100は、円筒状の外筒127の上端に吸気口101が形成されている。そして、外筒127の内方には、ガスを吸引排気するためのタービンブレードによる複数の回転翼102a、102b、102c・・・を周部に放射状かつ多段に形成した回転体103が備えられている。

この回転体103の中心にはロータ軸113が取り付けられており、このロータ軸113は、例えば5軸制御の磁気軸受により空中に浮上支持かつ位置制御されている。

【0005】

上側径方向電磁石104は、4個の電磁石がX軸とY軸とに対をなして配置されている。この上側径方向電磁石104に近接かつ対応されて4個の電磁石からなる上側径方向センサ107が備えられている。この上側径方向センサ107は回転体103の径方向変位を検出し、図示せぬ制御装置に送るように構成されている。

【0006】

この制御装置においては、上側径方向センサ 1 0 7 が検出した変位信号に基づき、P I D 調節機能を有する補償回路を介したアンプ回路 1 5 0（後述する）により上側径方向電磁石 1 0 4 を励磁制御し、ロータ軸 1 1 3 の上側の径方向位置を調整する。

【 0 0 0 7 】

そして、このロータ軸 1 1 3 は、高透磁率材（鉄など）などにより形成され、上側径方向電磁石 1 0 4 の磁力により吸引されるようになっている。かかる調整は、X 軸方向と Y 軸方向とにそれぞれ独立して行われる。

また、下側径方向電磁石 1 0 5 及び下側径方向センサ 1 0 8 が、上側径方向電磁石 1 0 4 及び上側径方向センサ 1 0 7 と同様に配置され、ロータ軸 1 1 3 の下側の径方向位置を上側の径方向位置と同様に調整している。

【 0 0 0 8 】

さらに、軸方向電磁石 1 0 6 A、1 0 6 B が、ロータ軸 1 1 3 の下部に備えた円板状の金属ディスク 1 1 1 を上下に挟んで配置されている。金属ディスク 1 1 1 は、鉄などの高透磁率材で構成されている。ロータ軸 1 1 3 の軸方向変位を検出するために軸方向センサ 1 0 9 が備えられ、その軸方向変位信号が制御装置に送られるように構成されている。

【 0 0 0 9 】

そして、軸方向電磁石 1 0 6 A、1 0 6 B は、この軸方向変位信号に基づき、制御装置の P I D 調節機能を有する補償回路を介したアンプ回路 1 5 0 により励磁制御されるようになっている。軸方向電磁石 1 0 6 A は、磁力により金属ディスク 1 1 1 を上方に吸引し、軸方向電磁石 1 0 6 B は、金属ディスク 1 1 1 を下方に吸引する。

【 0 0 1 0 】

このように、制御装置は、この軸方向電磁石 1 0 6 A、1 0 6 B が金属ディスク 1 1 1 に及ぼす磁力を適当に調節し、ロータ軸 1 1 3 を軸方向に磁気浮上させ、空間に非接触で保持するようになっている。

なお、これら上側径方向電磁石 1 0 4、下側径方向電磁石 1 0 5 及び軸方向電磁石 1 0 6 A、1 0 6 B を励磁駆動するアンプ回路 1 5 0 については、後述する

。

【0011】

一方、モータ121は、ロータ軸113を取り囲むように周状に配置された複数の磁極を備えている。各磁極は、ロータ軸113との間に作用する電磁力を介してロータ軸113を回転駆動するように、制御装置によって制御されている。

また、モータ121には図示しない回転数センサが組み込まれており、この回転数センサの検出信号によりロータ軸113の回転数が検出されるようになっている。

【0012】

さらに、例えば下側径方向センサ108近傍に、図示しない位相センサが取り付けられてあり、ロータ軸113の回転の位相を検出するようになっている。制御装置では、この位相センサと回転数センサの検出信号を共に用いて磁極の位置を検出するようになっている。

【0013】

回転翼102a、102b、102c・・・とわずかの空隙を隔てて複数枚の固定翼123a、123b、123c・・・が配設されている。回転翼102a、102b、102c・・・は、それぞれ排気ガスの分子を衝突により下方向に移送するため、ロータ軸113の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成されている。

【0014】

また、固定翼123も、同様にロータ軸113の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成され、かつ外筒127の内方に向けて回転翼102の段と互い違いに配設されている。

そして、固定翼123の一端は、複数の段積みされた固定翼スペーサ125a、125b、125c・・・の間に嵌挿された状態で支持されている。

【0015】

固定翼スペーサ125はリング状の部材であり、例えばアルミニウム、鉄、ステンレス、銅などの金属、又はこれらの金属を成分として含む合金などの金属によって構成されている。

固定翼スペーサ 125 の外周には、わずかの空隙を隔てて外筒 127 が固定されている。外筒 127 の底部にはベース部 129 が配設され、固定翼スペーサ 125 の下部とベース部 129 の間にはネジ付きスペーサ 131 が配設されている。そして、ベース部 129 中のネジ付きスペーサ 131 の下部には排気口 133 が形成され、外部に連通されている。

【0016】

ネジ付きスペーサ 131 は、アルミニウム、銅、ステンレス、鉄、又はこれらの金属を成分とする合金などの金属によって構成された円筒状の部材であり、その内周面に螺旋状のネジ溝 131a が複数条刻設されている。

ネジ溝 131a の螺旋の方向は、回転体 103 の回転方向に排気ガスの分子が移動したときに、この分子が排気口 133 の方へ移送される方向である。

【0017】

回転体 103 の回転翼 102a、102b、102c・・・に続く最下部には回転翼 102d が垂下されている。この回転翼 102d の外周面は、円筒状で、かつネジ付きスペーサ 131 の内周面に向かって張り出されており、このネジ付きスペーサ 131 の内周面と所定の隙間を隔てて近接されている。

【0018】

ベース部 129 は、ターボ分子ポンプ 100 の基底部を構成する円盤状の部材であり、一般には鉄、アルミニウム、ステンレスなどの金属によって構成されている。

ベース部 129 はターボ分子ポンプ 100 を物理的に保持すると共に、熱の伝導路の機能も兼ね備えているので、鉄、アルミニウムや銅などの剛性があり、熱伝導率も高い金属が使用されるのが望ましい。

【0019】

かかる構成において、回転翼 102 がモータ 121 により駆動されてロータ軸 113 と共に回転すると、回転翼 102 と固定翼 123 の作用により、吸気口 101 を通じてチャンバからの排気ガスが吸気される。

吸気口 101 から吸気された排気ガスは、回転翼 102 と固定翼 123 の間を通り、ベース部 129 へ移送される。このとき、排気ガスが回転翼 102 に接触

する際に生ずる摩擦熱や、モータ 121 で発生した熱の伝導などにより、回転翼 102 の温度は上昇するが、この熱は、輻射又は排気ガスの気体分子などによる伝導により固定翼 123 側に伝達される。

【0020】

固定翼スペーサ 125 は、外周部で互いに接合しており、固定翼 123 が回転翼 102 から受け取った熱や排気ガスが固定翼 123 に接触する際に生ずる摩擦熱などを外部へと伝達する。

ベース部 129 に移送されてきた排気ガスは、ネジ付きスペーサ 131 のネジ溝 131a に案内されつつ排気口 133 へと送られる。

【0021】

なお、上記では、ネジ付きスペーサ 131 は回転翼 102 d の外周に配設し、ネジ付きスペーサ 131 の内周面にネジ溝 131a が刻設されているとして説明した。しかしながら、これとは逆に回転翼 102 d の外周面にネジ溝が刻設され、その周囲に円筒状の内周面を有するスペーサが配置される場合もある。

【0022】

また、吸気口 101 から吸引されたガスがモータ 121、下側径方向電磁石 105、下側径方向センサ 108、上側径方向電磁石 104、上側径方向センサ 107 などで構成される電装部側に侵入することのないよう、電装部は周囲をステータコラム 122 で覆われ、この電装部内はパージガスにて所定圧に保たれている。

【0023】

このため、ベース部 129 には図示しない配管が配設され、この配管を通じてパージガスが導入される。導入されたパージガスは、保護ベアリング 120 とロータ軸 113 間、モータ 121 のロータとステータ間、ステータコラム 122 と回転翼 102 間の隙間を通じて排気口 133 へ送出される。

【0024】

ここに、ターボ分子ポンプ 100 は、個々に調整された固有のパラメータ（例えば、機種の特長、機種に対応する諸特性）に基づいた制御を要する。この制御パラメータを格納するために、上記ターボ分子ポンプ 100 は、その本体内に電

子回路部 141 を備えている。電子回路部 141 は、EEPROM 等の半導体メモリ及びそのアクセスのための半導体素子等の電子部品、その実装用の基板 143 等から構成される。

この電子回路部 141 は、ターボ分子ポンプ 100 の下部を構成するベース部 129 の中央付近の図示しない回転数センサの下部に收容され、気密性の底蓋 145 によって閉じられている。

【0025】

ところで、プロセスガスは、反応性を高めるため高温の状態でチャンバに導入されることがある。そして、これらのプロセスガスは、排気される際に冷却されてある温度になると固体となり排気系に生成物を析出する場合がある。そして、この種のプロセスガスがターボ分子ポンプ 100 内で低温となって固体状となり、ターボ分子ポンプ 100 内部に付着して堆積する。

【0026】

例えば、Al エッチング装置にプロセスガスとして SiCl₄ が使用された場合、低真空 (760 [torr] ~ 10⁻² [torr]) かつ、低温 (約 20 [°C]) のとき、固体生成物 (例えば AlCl₃) が析出し、ターボ分子ポンプ 100 内部に付着堆積することが蒸気圧曲線からわかる。これにより、ターボ分子ポンプ 100 内部にプロセスガスの析出物が堆積すると、この堆積物がポンプ流路を狭め、ターボ分子ポンプ 100 の性能を低下させる原因となる。そして、前述した生成物は排気口付近の温度が低い部分、特に回転翼 102 及びネジ付きスペーサ 131 付近で凝固、付着し易い状況にあった。

【0027】

そのため、この問題を解決するために、従来はベース部 129 等の外周に図示しないヒータや環状の水冷管 149 を巻着させ、かつ例えばベース部 129 に図示しない温度センサ (例えばサーミスタ) を埋め込み、この温度センサの信号に基づきベース部 129 の温度を一定の高い温度 (設定温度) に保つようにヒータの加熱や水冷管 149 による冷却の制御 (以下 TMS という。TMS ; Temperature Management System) が行われている。

【0028】

次に、このように構成されるターボ分子ポンプ100に関して、その上側径方向電磁石104、下側径方向電磁石105及び軸方向電磁石106A、106Bを励磁駆動するアンプ回路150について、詳細に説明する。

このアンプ回路の回路図を図8に示す。

【0029】

図8において、上側径方向電磁石104等を構成する電磁石巻線151は、その一端がトランジスタ161を介して電源171の正極171aに接続されており、また、その他端が電流検出回路181及びトランジスタ162を介して電源171の負極171bに接続されている。

そして、トランジスタ161、162は、いわゆるパワーMOSFETとなっており、そのソースドレイン間にダイオードが接続された構造を有している。

【0030】

このとき、トランジスタ161は、そのダイオードのカソード端子161aが正極171aに接続されるとともに、アノード端子161bが電磁石巻線151の一端と接続されるようになっている。

また、トランジスタ162は、そのダイオードのカソード端子162aが電流検出回路181に接続されるとともに、アノード端子162bが負極171bと接続されるようになっている。

【0031】

一方、電流回生用のダイオード165は、そのカソード端子165aが電磁石巻線151の一端に接続されるとともに、そのアノード端子165bが負極171bに接続されるようになっている。

また、これと同様に、電流回生用のダイオード166は、そのカソード端子166aが正極171aに接続されるとともに、そのアノード端子166bが電流検出回路181を介して電磁石巻線151の他端に接続されるようになっている。

そして、電流検出回路181は、例えばホールセンサ式電流センサで構成されている。

【0032】

以上のように構成されるアンプ回路 150 は、各電磁石 104、105、106 A、106 B に対応されるものであり、他の電磁石 105、106 A、106 B についても同様のアンプ回路 150 が構成されるようになっている。そのため、磁気軸受が 5 軸制御の場合には、電源 171 に対して 10 個のアンプ回路 150 が並列に接続されるようになっている。

【0033】

さらに、アンプ制御回路 191 は、制御装置の図示しないデジタル・シグナル・プロセッサ部（以下、DSP 部という）内の回路となっており、このアンプ制御回路 191 は、トランジスタ 161、162 の on/off を切り替え可能となっている。

【0034】

すなわち、この DSP 部及びそのアンプ制御回路 191 は、電流検出回路 181 が検出した電流値（この電流値を反映した信号を電流検出信号 191c という）と所定の電流指令値とを比較するようになっている。そして、この比較結果に基づき、PWM 制御による 1 周期である制御サイクル T_s 内に発生させるパルス幅の大きさ（パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} ）を決めるようになっている。その結果、このパルス幅を有するゲート駆動信号 191a、191b を、アンプ制御回路 191 からトランジスタ 161、162 のゲート端子に出力するようになっている。

【0035】

なお、電源 171 としては、特に、回転体 103 の回転速度の加速運転中に共振点を通過する際や定速運転中に外乱が発生した際等に、高速かつ強い力での回転体 103 の位置制御をする必要がある。そのため、電磁石巻線 151 に流れる電流の急激な増加（あるいは減少）ができるように、電源 171 としては、例えば 50 V 程度の高電圧が使用されるようになっている。

また、電源 171 の正極 171a と負極 171b との間には、電源 171 の安定化のために、通常コンデンサが接続されている（図示略）。

【0036】

かかる構成において、トランジスタ 161、162 の両方を on にすると、電

磁石巻線 151 に流れる電流（以下、電磁石電流 i_L という）が増加し、両方を off にすると、電磁石電流 i_L が減少する。

【0037】

また、トランジスタ 161、162 のどちらか 1 個を on にすると、いわゆるフライホイール電流が保持される。そして、このようにアンプ回路 150 にフライホイール電流を流すことで、特許文献 1 に示すようアンプ回路 150 におけるヒステリシス損を減少させ、回路全体としての消費電力を低く抑えることができる。また、このようにトランジスタ 161、162 を制御することにより、ターボ分子ポンプ 100 に生じる高調波等の高周波ノイズを低減することができる。さらに、このフライホイール電流を電流検出回路 181 で測定することで電磁石巻線 151 を流れる電磁石電流 i_L が検出可能となる。

【0038】

【特許文献 1】

特許 3176584 号公報

【0039】

すなわち、電流指令値が検出した電流値より大きい場合には、図 9 に示すように制御サイクル T_s （例えば $100\mu s$ ）中で 1 回だけ、パルス幅時間 T_{p1} に相当する時間分だけトランジスタ 161、162 の両方を on にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、正極 171a から負極 171b へ、トランジスタ 161、162 を介して流し得る電流値 i_{Lmax} （図示せず）に向かって増加する。

【0040】

一方、指令値が検出値より小さい場合には、図 10 に示すように制御サイクル T_s 中で 1 回だけパルス幅時間 T_{p2} に相当する時間分だけトランジスタ 161、162 の両方を off にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、負極 171b から正極 171a へ、ダイオード 165、166 を介して回生し得る電流値 i_{Lmin} （図示せず）に向かって減少する。

【0041】

そして、いずれの場合にも、パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} の経過後は、トラン

ジスタ 161、162 のどちらか 1 個を on にする。そのため、この期間中は、アンプ回路 150 にフライホイール電流が保持される。

【0042】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、ターボ分子ポンプ 100 においては、上述のように、例えば上側径方向電磁石 104 と上側径方向センサ 107 とは、互いにできるだけ近くに配置される必要がある。

【0043】

もちろん、上側径方向電磁石 104 と上側径方向センサ 107 との間だけでなく、下側径方向電磁石 105 と下側径方向センサ 108 との間や、軸方向電磁石 106A、106B と軸方向センサ 109 との間においても、電磁石と位置センサとは、互いにできるだけ近くに配置される必要がある。

従って、電磁石 104、105、106A、106B とそれぞれの位置センサ 107、108、109 との間は、互いに静電的に結合しているといえる。

【0044】

また、電磁石 104、105、106A、106B とそれぞれの位置センサ 107、108、109 との間には、ロータ軸 113 や金属ディスク 111 の高透磁率材が介設されるため、これらの間も互いに磁氣的に結合しているといえる。

【0045】

一方、アンプ制御回路 191 は、上述の通り、制御サイクル T_s 以下で高速にトランジスタ 161、162 の on/off を切り替えている。従って、電磁石巻線 151 には、トランジスタ 161、162 の切り替えに伴う電氣的なノイズ（例えばインダクタンス成分に基づくもの、反射に基づくもの等）が発生する場合がある。また、これに加え、電磁石巻線 151 における電氣的なノイズの発生に起因して、電磁石巻線 151 から磁氣的なノイズが発生する場合もある。

このとき、電磁石巻線 151 で発生した電氣的・磁氣的なノイズは、電磁石巻線 151 と静電的・磁氣的に結合した各位置センサ 106、107、108、109 に影響を与えるおそれがある。

【0046】

すなわち、各位置センサ 106、107、108、109 に、電磁石巻線 151 で発生した電気的なノイズが作用すれば、各位置センサ 106、107、108、109 が検出した変位信号に、ノイズ成分に対応したノイズ量が混入するおそれがある。この場合、制御回路の補償回路では、ノイズ成分が混入した変位信号に基づいて P I D 制御を行い、この結果をアンプ回路 150 に出力してしまう。そのため、アンプ回路 150 による電磁石巻線 151 の励磁駆動は、ノイズ成分が混入した状態におけるものとなる。従って、回転体 103 は、真の変位信号と異なる電気的なノイズ成分により、振動してしまうおそれがある。

【0047】

また、これと同様に、各位置センサ 106、107、108、109 に、電磁石巻線 151 で発生した磁気的なノイズが作用すれば、各位置センサ 106、107、108、109 が検出する磁場自体にノイズが発生するおそれがある。そのため、上記の電気的なノイズと同様に、各位置センサ 106、107、108、109 が検出した変位信号に、ノイズ成分に対応したノイズ量が混入するおそれがある。従って、この場合も、回転体 103 は、磁気的なノイズ成分により振動してしまうおそれがある。

【0048】

そして、このように回転体 103 が振動すると、ターボ分子ポンプ 100 が接続するチャンバにも振動が伝わってしまい、チャンバ内で行う半導体の製造や電子顕微鏡の測定等に影響を与えるおそれがあった。

【0049】

また、電磁石巻線 151 に発生するノイズは、電気的・磁気的なノイズであるため、このノイズ成分が直接的にチャンバ内で行う半導体の製造や電子顕微鏡の測定等に伝わって、これらに影響を与えるおそれがあった。特に、チャンバ内で電子顕微鏡の測定等を行う場合には、電子顕微鏡で照射される電子ビームが、電磁石巻線 151 で発生される磁気的なノイズの影響を受けて曲がってしまうおそれがあった。

【0050】

さらに、電源 171 は、上述のように、回転体 103 を高速かつ強い力で位置

制御する必要があるため、通常 50 V 程度の高電圧が使用される。しかし、電磁石巻線 151 に発生する電氣的・磁氣的なノイズは、電源 171 の電圧の大きさに対応して大きくなるものである。従って、回転体 103 を高速かつ強い力で位置制御しつつ、電磁石巻線 151 に発生する電氣的・磁氣的なノイズを減少させるのは困難であった。

【0051】

本発明はこのような従来の課題に鑑みてなされたもので、高速かつ強い力で回転体の位置制御を可能にしつつ、ポンプ装置から生じる振動を低減し、かつポンプ装置から生じる電氣的・磁氣的なノイズを減らすことのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したポンプ装置を提供することを目的とする。

【0052】

【課題を解決するための手段】

このため本発明は、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を電磁石により制御する位置制御手段と、前記電磁石を励磁駆動し、かつ該電磁石の励磁駆動を制御する励磁駆動制御回路とを備えた磁気軸受装置であって、前記励磁駆動制御回路は、第 1 の電位を発生する第 1 の電源と、前記第 1 の電位よりも低い電位である第 2 の電位を発生する第 2 の電源と、前記第 1 の電源又は前記第 2 の電源を選択可能であるとともに、該選択された電源から供給された電流により前記電磁石の励磁駆動を行う励磁駆動手段と、該励磁駆動手段における電源の選択を所定の動作モードに応じて選択する選択制御手段とを備えて構成した。

【0053】

電磁石への励磁駆動に際し、第 1 の電源と、この第 1 の電源より低い電位を発生する第 2 の電源とが、所定の動作モードに応じて選択される。

そのため、第 1 の電源が選択された場合には、回転体の位置制御を高速かつ強いで行うことが可能となる。一方、第 2 の電源が選択された場合には、電磁石から発生する電氣的・磁氣的なノイズを減らすことができる。

このことにより、高速かつ強い力で回転体の位置制御を可能にしつつ、磁気軸受装置から生じる振動を低減し、かつこの磁気軸受装置から生じる電氣的・磁気

的なノイズを減らすことができる。

【0054】

また、本発明は、前記電磁石の電流又は磁束を検知する電流／磁束検知手段と、該電流／磁束検知手段で検知した電流又は磁束の変化に基づき、所定の指数値への演算を行う演算手段と、該演算手段で演算された指数値が、基準の指数値である基準指数値以上か否かを判断する指数値判断手段とを備え、前記選択制御手段は、前記指数値判断手段で前記指数値が前記基準指数値以上であると判断されたとき、前記第1の電源を選択することを特徴とする。

【0055】

回転体の位置制御を高速かつ強い力で行うためには、電磁石に大きな電流を流す必要がある。そのため、電磁石に流れる電流やその磁束の変化に基づき演算された指数値が、基準指数値以上か否かにより、回転体の位置制御に高速かつ強い力を必要としているか否かが判断可能である。

このことにより、電磁石に流れる電流やその磁束を検知することで、第1の電源又は第2の電源の選択を行うことができる。

【0056】

さらに、本発明は、前記指数値は、所定期間内における前記電磁石の電流又は磁束の時間微分値あるいは増減値又は前記所定期間よりも長い期間内における前記時間微分値の平均値あるいは前記増減値の平均値のいずれかであることを特徴とする。

【0057】

このことにより、電磁石に流れるやその磁束から時間微分値や増減値を演算することで、電磁石に流れる電流やその磁束の急激な変化が検知可能である。従って、これらの指令値が、基準指令値以上になったとき、第2の電源が選択される。

一方、指令値としては、電流や磁束の時間微分値や増減値の平均値を捉えることもできる。これにより、瞬間的な電流のリップル等による電源の切り替え動作を防ぐことができる。

なお、所定期間とは、例えば、電磁石の励磁駆動をPWM制御した場合の制御

サイクルの 1 周期の時間である。また、この場合、所定期間よりも長い期間とは、この制御サイクルの数周期分の時間である。

【0058】

さらに、本発明は、前記回転体の回転数を検知する回転数検知手段と、該回転数検知手段で検知された回転数が、所定範囲の回転数であるか否かを判断する回転数判断手段とを備え、前記選択制御手段は、前記回転数判断手段で前記回転数検知手段で検知された回転数が前記所定範囲の回転数であると判断されたとき、前記第 1 の電源を選択することを特徴とする。

【0059】

回転数検知手段で検知された回転数が、所定範囲の回転数であるか否かにより、回転体の位置制御に高速かつ強い力を必要としているか否かが判断される。そして、検知された回転数が、所定範囲の回転数であると判断された場合には、第 1 の電源が選択される。

このことにより、回転体の回転数を検知することによっても、第 1 の電源又は第 2 の電源の選択を行うことができる。

【0060】

さらに、本発明は、前記所定範囲は、前記回転体の回転加速時に通過する共振点を含むことを特徴とする。

【0061】

回転体の回転加速時に共振点を通過する際には、回転体が振動するおそれがある。従って、この範囲を所定範囲に含むことで、共振点通過時に回転体を高速かつ強い力で位置制御することが可能となる。

一方、この期間以外は第 2 の電源を選択することで、磁気軸受装置で消費する電力を小さくすることができる。

【0062】

さらに、本発明は、前記励磁駆動手段は、前記第 1 の電源の第 1 の電位を発生する正極に一端が接続され、かつ前記電磁石の一端に他端が接続された第 1 のスイッチ素子と、該第 1 のスイッチ素子の他端に順方向出口端が接続され、かつ負極に順方向入口端が接続された第 1 の整流素子と、前記電磁石の他端に一端が接

続され、かつ前記負極に他端が接続された第2のスイッチ素子と、該第2のスイッチ素子の一端に順方向入口端が接続され、かつ前記第1の電源の正極に順方向出口端が接続された第2の整流素子と、前記第2の電源の第2の電位を発生する正極に一端が接続された第3のスイッチ素子と、該第3のスイッチ素子の他端に順方向入口端が接続され、かつ前記電磁石の一端に順方向出口端が接続された第3の整流素子と、前記第2の電源の正極に一端が接続された第4のスイッチ素子と、該第4のスイッチ素子の他端に順方向出口端が接続され、かつ前記電磁石の他端に順方向入口端が接続された第4の整流素子とを備え、前記電流／磁束検知手段は、前記電磁石、前記第1のスイッチ素子、前記第2のスイッチ素子、前記第3のスイッチ素子、前記第4のスイッチ素子、前記第1の整流素子、前記第2の整流素子、前記第3の整流素子及び前記第4の整流素子のうち少なくとも1の素子に対して直列に接続され、該接続された前記素子に流れる電流を検出する電流検出回路を備え、前記選択制御手段は、前記第1のスイッチ素子、前記第2のスイッチ素子、前記第3のスイッチ素子及び前記第4のスイッチ素子を断接することを特徴とする。

【0063】

このことにより、第1の電源又は第2の電源を選択して、その選択した電源から供給された電流により電磁石の励磁駆動が可能となる。

なお、第1のスイッチ素子、第2のスイッチ素子、第3のスイッチ素子及び第4のスイッチ素子は、例えばトランジスタ、特にパワーMOSFETであり、第1の整流素子、第2の整流素子、第3の整流素子及び第4の整流素子は、例えばダイオードである。

【0064】

さらに、本発明は、前記選択制御手段は、前記第1の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を増加させるために、前記第1のスイッチ素子及び前記第2のスイッチ素子をonにし、前記第1の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を減少させるために、前記第1のスイッチ素子、前記第2のスイッチ素子、前記第3のスイッチ素子及び前記第4のスイッチ素子をoffにし、前記第1の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を

一定に保つために、前記第2のスイッチ素子を on にし、かつ前記第1のスイッチ素子及び前記第3のスイッチ素子を off にし、あるいは前記第1のスイッチ素子を on にし、かつ前記第2のスイッチ素子及び前記第4のスイッチ素子を off にし、前記第2の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を増加させるために、前記第2のスイッチ素子及び前記第3のスイッチ素子を on にし、かつ前記第1のスイッチ素子を off にし、前記第2の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を減少させるために、前記第4のスイッチ素子を on にし、かつ前記第1のスイッチ素子、前記第2のスイッチ素子及び前記第3のスイッチ素子を off にし、前記第2の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を一定に保つために、前記第2のスイッチ素子を on にし、かつ前記第1のスイッチ素子及び前記第3のスイッチ素子を off にし、あるいは前記第3のスイッチ素子及び前記第4のスイッチ素子を on にし、かつ前記第1のスイッチ素子及び前記第2のスイッチ素子を off にすることを特徴とする。

【0065】

このことにより、第1の電源を選択して電磁石の励磁駆動を行う場合には、第1の電源から第2の電源への貫通電流を防ぎつつ、従来と同様に、第1の電源から電磁石への電力の供給（あるいは電流の回生）が可能になる。

また、第2の電源を選択して電磁石の励磁駆動を行う場合も、第2の電源から電磁石への電力の供給（あるいは電流の回生）が可能になる。

【0066】

さらに、本発明は、前記励磁駆動手段は、第1のノードに一端が接続され、かつ前記電磁石の一端に他端が接続された第1のスイッチ素子と、該第1のスイッチ素子の他端に順方向出口端が接続され、かつ負極に順方向入口端が接続された第1の整流素子と、前記電磁石の他端に一端が接続され、かつ前記負極に他端が接続された第2のスイッチ素子と、該第2のスイッチ素子の一端に順方向入口端が接続され、かつ第2のノードに順方向出口端が接続された第2の整流素子と、前記第1の電源の第1の電位を発生する正極に一端が接続され、かつ前記第1のノードに他端が接続された第3のスイッチ素子と、該第3のスイッチ素子の他端

に順方向出口端が接続され、かつ前記第 2 の電源の第 2 の電位を発生する正極に順方向入口端が接続された第 3 の整流素子と、前記第 2 の電源の正極に一端が接続され、かつ前記第 2 のノードに他端が接続された第 4 のスイッチ素子と、該第 4 のスイッチ素子の他端に順方向入口端が接続され、かつ前記第 1 の電源の正極に順方向出口端が接続された第 4 の整流素子とを備え、前記電流／磁束検知手段は、前記電磁石、前記第 1 のスイッチ素子、前記第 2 のスイッチ素子、前記第 3 のスイッチ素子、前記第 4 のスイッチ素子、前記第 1 の整流素子、前記第 2 の整流素子、前記第 3 の整流素子及び前記第 4 の整流素子のうち少なくとも 1 の素子に対して直列に接続され、該接続された前記素子に流れる電流を検出する電流検出回路を備え、前記選択制御手段は、前記第 1 のスイッチ素子、前記第 2 のスイッチ素子、前記第 3 のスイッチ素子及び前記第 4 のスイッチ素子を断接することを特徴とする。

【0067】

このことにより、請求項 6 と異なる励磁駆動手段の構成であっても、第 1 の電源又は第 2 の電源を選択して、その電源から供給された電流により電磁石の励磁駆動が可能となる。

従って、励磁駆動制御回路の設計において、設計容易な構成を選択可能となる。

【0068】

さらに、本発明は、前記励磁駆動手段は、前記励磁駆動手段は、前記第 1 の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を増加させるために、前記第 1 のスイッチ素子、前記第 2 のスイッチ素子及び前記第 3 のスイッチ素子を on にし、前記第 1 の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を減少させるために、前記第 1 のスイッチ素子、前記第 2 のスイッチ素子及び前記第 4 のスイッチ素子を off にし、前記第 1 の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を一定に保つために、前記第 2 のスイッチ素子を on にし、かつ前記第 1 のスイッチ素子を off にし、あるいは前記第 1 のスイッチ素子及び前記第 3 のスイッチ素子を on にし、かつ前記第 2 のスイッチ素子及び前記第 4 のスイッチ素子を off にし、前記第 2 の電源を選択して前記電磁石の一端か

ら他端へ流れる電流を増加させるために、前記第1のスイッチ素子及び前記第2のスイッチ素子を on にし、かつ前記第3のスイッチ素子を off にし、前記第2の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を減少させるために、前記第4のスイッチ素子を on にし、かつ前記第1のスイッチ素子及び前記第2のスイッチ素子を off にし、前記第2の電源を選択して前記電磁石の一端から他端へ流れる電流を一定に保つために、前記第2のスイッチ素子を on にし、かつ前記第1のスイッチ素子を off にし、あるいは前記第1のスイッチ素子及び前記第4のスイッチ素子を on にし、かつ前記第2のスイッチ素子及び前記第3のスイッチ素子を off にすることを特徴とする。

【0069】

この場合も、請求項7と異なる制御を行うことによっても、請求項7と同様の作用を生じさせることができる。

従って、励磁駆動制御回路の制御においても、制御容易な構成を選択可能となる。

【0070】

さらに、本発明は、前記電磁石は、複数個設けられており、前記励磁駆動制御回路は、前記複数個の電磁石をそれぞれ独立に制御するとともに、該励磁駆動制御回路においては、前記複数個の電磁石に対する前記第1のノード同士及び／又は該複数個の電磁石に対する前記第2のノード同士は、共通であることを特徴とする。

【0071】

このことにより、第3のスイッチ素子、第3の整流素子、第4のスイッチ素子、第4の整流素子も共通にできるため、回路全体の素子数を減らすことができる。

なお、この場合、これらの素子は全ての電磁石への電力供給源となるため、ある程度大きな駆動能力を有することが望ましい。

【0072】

さらに、本発明は、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を電磁石により制御する位置制御手段と、前記電磁石を励磁駆動し、かつ該電磁

石の励磁駆動を制御する励磁駆動制御回路とを備えた磁気軸受装置であって、前記励磁駆動制御回路は、2以上の電位を発生するN個の電源と、該N個の電源のいずれか1個を選択可能であるとともに、該選択された電源から供給された電流により前記電磁石の励磁駆動を行う励磁駆動手段と、該励磁駆動手段における電源の選択を所定の動作モードに応じて選択する選択制御手段とを備えたことを特徴とする。

【0073】

このことにより、第1の電源と第2の電源との間の選択だけでなく、さらに、これらの中間の電位を有する電源との間の選択も可能となる。

また、第1の電源よりも高い電位を有する電源を選択することで、さらに高速かつ強い力で回転体の位置制御が可能となる。一方、第2の電源よりも低い電位を有する電源を選択することで、さらに低振動な動作が可能となる。

【0074】

さらに、本発明は、請求項1～11のいずれか1項に記載の磁気軸受装置を搭載したポンプ装置であって、該ポンプ装置は、被対象設備に接続され、かつ該被対象設備から所定のガスを吸引することを特徴とする。

【0075】

このことにより、高速かつ強い力で回転体の位置制御を可能にしつつ、ポンプ装置から生じる振動を低減し、かつポンプ装置から生じる電氣的・磁氣的なノイズを減らすことができる。

従って、被対象設備に伝わる電氣的・磁氣的なノイズを低減することができ、半導体の製造や電子顕微鏡の測定等への悪影響を避けることが可能となる。

【0076】

さらに、本発明は、前記被対象設備における作業内容が予め決められた作業内容であるか否かを判断する作業内容判断手段を備え、前記選択制御手段は、前記作業内容判断手段で前記被対象設備における作業内容が前記予め決められた作業内容であると判断されたとき、前記第2の電源を選択することを特徴とする。

【0077】

被対象設備における作業内容が、予め決められた作業内容であるか否かにより

、回転体の位置制御を低振動で行う必要があるか否かが判断される。そして、被対象設備における作業内容が、予め決められた作業内容であると判断された場合には、第2の電源が選択される。

このことにより、被対象設備における作業内容を判断することによっても、第1の電源又は第2の電源の選択を行うことができる。

なお、予め決められた作業内容としては、例えば、被対象設備内で半導体ウェハへの紫外線照射を行う場合や、電子顕微鏡による測定で電子ビームを照射する場合等である。

【0078】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の第1の実施形態について説明する。

本発明の第1実施形態であるアンプ回路の回路図を図1に示す。なお、図8と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。また、以下において、高電圧電源171は、従来の電源171と同じものであるが、後述する低電圧電源271と区別するため、高電圧電源171というものとする。

【0079】

図1において、電磁石巻線151は、その一端がトランジスタ161を介して高電圧電源171の正極171aに接続される（従来と同様）とともに、さらに、この電磁石巻線151の一端がダイオード265及びトランジスタ261を介して低電圧電源271の正極271aにも接続されている。

【0080】

このとき、このトランジスタ261は、トランジスタ161等と同様に、パワーMOSFETとなっており、そのソースドレイン間にダイオードが接続された構造を有している。そして、トランジスタ261は、そのダイオードのカソード端子261aが低電圧電源271の正極271aに接続されるとともに、アノード端子261bがダイオード265のアノード端子265bと接続されるようになっている。そして、このダイオード265のカソード端子265aは、電磁石巻線151の一端と接続されるようになっている。

【0081】

一方、電磁石巻線 151 の他端には、電流検出回路 181 を介して、トランジスタ 162 及びダイオード 166 (従来と同様) に加え、さらに、ダイオード 266 のアノード端子 266 b が接続されている。そして、この電磁石巻線 151 の他端は、電流検出回路 181、ダイオード 266、トランジスタ 262 を介して、低電圧電源 271 の正極 271 a に接続されている。

【0082】

このとき、トランジスタ 262 は、トランジスタ 261 と同様に、パワー MOSFET となっており、そのソースドレイン間にダイオードが接続された構造を有している。そして、トランジスタ 262 は、そのダイオードのアノード端子 262 b が低電圧電源 271 の正極 271 a に接続されるとともに、カソード端子 262 a がダイオード 266 のカソード端子 266 a に接続されるようになっている。

【0083】

以上のように構成されるアンプ回路 250 は、従来のアンプ回路 150 と同様に、各電磁石 104、105、106 A、106 B に対応されるものであり、他の電磁石 105、106 A、106 B についても同様のアンプ回路 250 が構成されるようになっている。

【0084】

また、アンプ制御回路 291 は、従来と同様に、DSP 部内の回路であり、トランジスタ 161、162、261、262 の on/off を切り替え可能となっている。

【0085】

さらに、DSP 部及びそのアンプ制御回路 291 では、電流検出回路 181 が検出した電流値と所定の電流指令値とを比較するようになっている。そして、この比較結果に基づき、制御サイクル T_s 内に発生させるパルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} を決めるようになっている。その結果、このパルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} を有するゲート駆動信号 191 a、191 b、291 a、291 b を、アンプ制御回路 291 からトランジスタ 161、162、261、262 のゲート端子に出力するようになっている。

【0086】

さらに、アンプ制御回路 291 には、アンプ回路 250 における高電圧モードと低電圧モードとの間の切り替え（後述する）を行うためのモード切替信号 292 が入力されるようになっている。

【0087】

なお、高電圧電源 171 としては、従来と同様に、高速かつ強い力での回転体 103 の位置制御を可能にするため、例えば 50 V 程度の高電圧となっている。一方、低電圧電源 271 としては、高電圧電源 171 と異なり、電磁石巻線 151 で発生する電氣的・磁氣的なノイズを低減するため、例えば 15 V 程度の低電圧となっている。これ以降、高電圧電源 171 の正極 171 a の電位を電圧 V_h といい、低電圧電源 271 の正極 271 a の電位を電圧 V_l という（なお、高電圧電源 171 の負極 171 b 及び低電圧電源 271 の負極 271 b は共通なので、この電位を 0 V とする）。

【0088】

さらに、従来と同様に、高電圧電源 171 の正極 171 a と負極 171 b との間や、低電圧電源 271 の正極 271 a と負極 271 b との間には、これらの安定化のために、通常図示しないコンデンサが接続されていることが望ましい。

また、電流検出回路 181 は、電磁石巻線 151 に対してのみ直列に接続されるようになっているが、トランジスタ 161、162、261、262 やダイオード 165、166、256、266 に対してのみ直列に接続されるようになっていても良い。

【0089】

さらに、高電圧電源 171 の正極 171 a や、低電圧電源 271 の正極 271 a には、いわゆる過電流保護装置や過電圧保護装置が配設されていることが望ましい（図示略）。これにより、万一、トランジスタ 161 等やダイオード 265 等が破壊して、高電圧電源 171 と低電圧電源 271 との間が短絡してしまっても、これらの保護装置の作用により、ポンプ装置全体の破壊を免れることができる。

【0090】

また、トランジスタ 161、162、261 を on させるときにゲート端子に印加する電圧は、そのソース端子が接続される電源電圧 + 約 15 V であれば良い。すなわち、トランジスタ 161 の場合、そのゲート端子には電圧 V_h + 約 15 V が印加され、トランジスタ 162 の場合、そのゲート端子には + 約 15 V が印加され、トランジスタ 261 には、電圧 V_l + 約 15 V が印加されれば良い。

一方、トランジスタ 262 は、アンプ回路 250 内を回生する電流を低電圧電源 271 の正極 271 a 側に転送する必要があるため、電圧 V_l よりも高い電圧（例えば、30 V 程度）をゲート端子に印加することが望ましい。このとき、この 30 V の電圧は、高電圧電源 171 から降圧して作成しても良いし、逆に低電圧電源 271 から昇圧して作成しても良い。いずれにしても、トランジスタ 262 のゲート端子を駆動できる程度の電力が供給できれば良いので、回路面積が増えることはほとんどない。

【0091】

さらに、ダイオード 165 及びダイオード 265 は、それぞれのカソード端子 165 a、265 a が同一のノードに接続されているので、いわゆるツインダイオードが使用されることが望ましい。これは、ダイオード 166 及びダイオード 266 についても同様のことがいえる。従って、アンプ回路 250 を構成する部材の部品数を減らすことが可能である。

【0092】

かかる構成において、電磁石巻線 151 は、高電圧電源 171 から電力が供給等される場合（以下、高電圧モードという）と、低電圧電源 271 から電力が供給等される場合（以下、低電圧モードという）とに切り替えられる。

【0093】

まず、これら両モードにおける電磁石電流 i_L の制御の仕方について説明する。この電磁石電流の制御の仕方を図 2 に示す。

図 2 において、高電圧モードで、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を増加させたいときには、パルス幅時間 T_{p1} に相当する時間分だけ、トランジスタ 161、162 を on にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、従来と同様に、正極 171 a から負極 171 b へ、トランジスタ 161、162 を

介して流し得る電流値 i_{Lmax} に向かって増加する。

【0094】

このとき、ダイオード 265 のアノード端子 265b 側に印加される電圧は、最大でも電圧 V_1 であるため、高電圧電源 171 の電圧 V_h がダイオード 265 を介して低電圧電源 271 側に印加されることはない。また、これと同様に、ダイオード 266 のアノード端子 266b 側は、およそ 0V に近いので、ダイオード 266 を介して、電磁石巻線 151 を経由した電流が低電圧電源 271 側に流れ込むこともない。

【0095】

なお、図 2 において、トランジスタ 261 の欄を” (off) ”としたが、これは on/off のいずれでも良いことを示している。すなわち、電磁石電流 i_L を増加させる状態では、ダイオード 265 によって、トランジスタ 261 に電圧 V_h が印加されることはないため、いずれでも良いことになる。ただし、これ以外の状態（電磁石電流 i_L を減少させたり、一定にしたいときの状態）との関係で off にしておけば、ゲート駆動信号 291a の制御が容易になるため、” (off) ”と示してある。そして、この点は、トランジスタ 262 についても同様である。

【0096】

一方、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を減少させたいときには、パルス幅時間 T_{p2} に相当する時間分だけ、トランジスタ 161、162、261、262 を off にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、従来と同様に、負極 171b から正極 171a へ、ダイオード 165、166 を介して回生し得る電流値 i_{Lmin} に向かって減少する。

【0097】

このとき、トランジスタ 161、162 を off にすることにより、従来と同様に電流が回生し得る状態にするとともに、トランジスタ 262 を off にすることにより、このトランジスタ 262 を介して、（回生する電流の）高電圧が低電圧電源 271 側に印加されることがなくなる。

【0098】

さらに、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を一定に保ちたいときには、例えば、トランジスタ 162 を on にして、トランジスタ 161、261 を off にする。あるいはトランジスタ 161 を on にして、トランジスタ 162、262 を off にする。そのため、この期間中は、従来と同様に、アンプ回路 250 にフライホイール電流が保持される。

【0099】

これに対し、低電圧モードで、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を増加させたいときには、パルス幅時間 T_{p1} に相当する時間分だけ、トランジスタ 162、261 を on にして、トランジスタ 161 を off にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、低電圧電源 271 の正極 271a から負極 271b へ、トランジスタ 261、ダイオード 265、トランジスタ 162 を介して流し得る電流値 i_{Lmax} に向かって増加する。

【0100】

このとき、トランジスタ 261 を on にして、トランジスタ 161 を off しているため、高電圧電源 171 からではなく低電圧電源 271 から、電磁石巻線 151 に電力が供給されるようになる。また、ダイオード 166 のカソード端子 166a が正極 171a に接続されているため、このダイオード 166 を介して、電磁石巻線 151 を介した電流が高電圧電源 171 側に流れ込むこともなくなる。

【0101】

一方、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を減少させたいときには、パルス幅時間 T_{p2} に相当する時間分だけ、トランジスタ 262 を on にして、トランジスタ 161、162、261 を off にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、低電圧電源 271 の負極 271b から正極 271a へ、ダイオード 165、ダイオード 266、トランジスタ 262 を介して回生し得る電流値 i_{Lmin} に向かって減少する。

【0102】

このとき、トランジスタ 261、162 を off にすることで、高電圧モードと同様に電流が回生し得る状態になるとともに、トランジスタ 262 を on にす

ることで、低電圧電源 271 への回生の経路を確保している。また、ダイオード 166 のカソード端子 166a が正極 171a に接続されているため、通常、この回生する電流が高電圧電源 171 へ流れることはない。

【0103】

さらに、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を一定に保ちたいときには、例えば、トランジスタ 162 を on にして、トランジスタ 161、261 を off にする。あるいはトランジスタ 261、262 を on にして、トランジスタ 161、162 を off にする。そのため、この期間中は、従来と同様に、アンプ回路 250 にフライホイール電流が保持される。

【0104】

以上のように、トランジスタ 161、162、261、262 を制御することで、高電圧モードでは、高電圧電源 171 から低電圧電源 271 への貫通電流を防ぎつつ、従来と同様に、高電圧電源 171 から電磁石巻線 151 への電力の供給（あるいは電流の回生）が可能になる。さらに、低電圧モードでは、低電圧電源 271 から電磁石巻線 151 への電力の供給（あるいは電流の回生）が可能になる。

【0105】

次に、高電圧モードと低電圧モードとの間の遷移について説明する。

まず、両モードの切り替え動作について説明する。この様子を示したフローチャートを図 3 に示す。

図 3 において、ステップ 501（図中 S501 と略す。以下同じ）では、電流検出回路 181 で検出した電磁石電流 i_L の大きさから、制御サイクル T_s 内のある時間における電磁石電流 i_L の瞬間的な時間変化、すなわち電流変化速度 di_L/dt を検出する。

【0106】

なお、この電流変化速度 di_L/dt の検出に際しては、各制御サイクル T_s 毎に電流変化速度 di_L/dt を検出しても良いし、数制御サイクル T_s （例えば、3 制御サイクル等）毎の電流変化速度 di_L/dt を記憶しておき、それらの平均値を検出しても良い。このことにより、瞬間的な電流のリプル等による

(後述する) ステップ 503 における分岐の切り替わりを防ぐことができる。

【0107】

一方、図示しないがステップ 501 においては、電流変化速度 $d i L / d t$ の検出ではなく、制御サイクル $T s$ 内における電磁石電流 $i L$ の変化量、すなわち電流変化量 $\Delta i L$ を検出するようにしても良い。この際も、各制御サイクル $T s$ 毎の電流変化量 $\Delta i L$ を検出しても良いし、数制御サイクル $T s$ 毎の平均の電流変化量 $\Delta i L$ に基づいて検出しても良い。

【0108】

いずれにしても、電磁石電流 $i L$ の変化の大きさを示す指数値（電流変化速度 $d i L / d t$ や電流変化量 $\Delta i L$ である）を検出することで、回転体 103 の位置制御に急激な電磁石電流 $i L$ の変化を必要としているか否か、すなわち回転体 103 の位置制御に高速かつ強い力を必要としているかを検知することができる。

【0109】

次に、ステップ 503 では、電流変化速度 $d i L / d t$ が（正確には電流変化速度 $d i L / d t$ の絶対値が）所定の基準電流変化速度 $d i L s / d t$ 以上か否かが判断される。ここに、基準電流変化速度 $d i L s / d t$ は、回転体 103 の位置制御において、高速かつ強い力での位置制御を必要とするか否かを定めるための値となっている。

【0110】

従って、電流変化速度 $d i L / d t$ が基準電流変化速度 $d i L s / d t$ 以上あるときには、回転体 103 の位置制御において高速かつ強い力を必要としているため、アンプ回路 250 を高電圧モードに切り替える必要がある。一方、電流変化速度 $d i L / d t$ が基準電流変化速度 $d i L s / d t$ 未満であるときには、回転体 103 の位置制御において高速かつ強い力を必要としないため、電磁石巻線 151 で生じる電氣的・磁氣的なノイズを低減すべく、アンプ回路 250 を低電圧モードへと切り替える必要がある。

【0111】

そして、ステップ 505 では、ステップ 503 で電流変化速度 $d i L / d t$ が

基準電流変化速度 $d i L s / d t$ 以上であると判断された場合には、現在のアンプ回路 250 が低電圧モードであるか否かを検知する。このとき、低電圧モードか否かの検知は、アンプ制御回路 291 に入力されるモード切替信号 292 を検出することで容易に判断可能である。

【0112】

その後、ステップ 505 で低電圧モードであると判断された場合には、ステップ 507 でアンプ回路 250 の状態を高電圧モードに切り替える。この場合、アンプ制御回路 291 には高電圧モードに切り替えられたモード切替信号 292 が入力される。そして、ステップ 507 で高電圧モードに切り替えられると、再びステップ 501 に戻り、電流変化速度 $d i L / d t$ の検知が行われる。

一方、ステップ 505 で低電圧モードでない（＝高電圧モードである）と判断された場合には、そのまま、ステップ 501 に戻って、電流変化速度 $d i L / d t$ の検知が行われる。

【0113】

これに対し、ステップ 509 では、ステップ 503 で電流変化速度 $d i L / d t$ が基準電流変化速度 $d i L s / d t$ 未満であると判断された場合には、現在のアンプ回路 250 が高電圧モードであるか否かを検知する。このとき、高電圧モードか否かの検知は、ステップ 505 と同様に、アンプ制御回路 291 に入力されるモード切替信号 292 を検知することで容易に判断可能である。

【0114】

その後、ステップ 509 で高電圧モードであると判断された場合には、ステップ 511 でアンプ回路 250 の状態を低電圧モードに切り替える。この場合も、ステップ 507 と同様に、アンプ制御回路 291 には低電圧モードに切り替えられたモード切替信号 292 が入力される。そして、ステップ 511 で低電圧モードに切り替えられると、再びステップ 501 に戻り、電流変化速度 $d i L / d t$ の検知が行われる。

一方、ステップ 509 で高電圧モードでない（＝低電圧モードである）と判断された場合には、そのまま、ステップ 501 に戻って、電流変化速度 $d i L / d t$ の検知が行われる。

【0 1 1 5】

以上により、両モードの切り替えをアンプ制御回路 2 9 1 等の制御により、自動で行うことが可能となる。

なお、これらステップ 5 0 1 ～ 5 1 1 は、制御サイクル T_s の 1 周期内に全て完了することが望ましい。これにより、各制御サイクル T_s 毎のモード切り替えが可能となるからである。

【0 1 1 6】

続いて、両モードへの切り替えの後のパルス幅時間 T_p （パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} である）の計算の仕方について説明する。

アンプ回路 2 5 0 において、ある制御サイクル T_s 内における電磁石巻線 1 5 1 の変化量である電流変化量 Δi_L と、そのときの電源電圧 V_d （高電圧電源 1 7 1 あるいは低電圧電源 2 7 1 である）との間には、キルヒホッフの法則により、数 1 が成立する。なお、電磁石巻線 1 5 1 のインダクタンスの大きさをインダクタンス L としている。また、アンプ回路 2 5 0 を構成するトランジスタ 1 6 1、1 6 2、2 6 1、2 6 2 の on 抵抗や、ダイオード 1 6 5、1 6 6、2 6 5、2 6 6 の on 抵抗等は極めて小さいとして、無視している。

【0 1 1 7】

【数 1】

$$V_d = L \times \Delta i_L / T_p$$

【0 1 1 8】

そして、制御サイクル T_s 内で電流変化量 Δi_L だけ変化させるために必要なパルス幅時間 T_p は、数 2 のように求められる。

【0 1 1 9】

【数 2】

$$T_p = L \times \Delta i_L / V_d$$

【0 1 2 0】

従って、そのときの電源電圧 V_d の大きさから、必要なパルス幅時間 T_p を求めることができる。

【0 1 2 1】

すなわち、高電圧モードに必要なパルス幅時間 T_{ph} は数 3 のように、低電圧モードに必要なパルス幅時間 T_{pl} は数 4 のように示される。

【0122】

【数 3】

$$T_{ph} = L \times \Delta i_L / V_h$$

【0123】

【数 4】

$$T_{pl} = L \times \Delta i_L / V_l$$

【0124】

従って、両モードへの切り替えの間におけるパルス幅時間の比は、それぞれの電源電圧の大きさの逆数の比に一致する（この関係を数 5 に示す）。

【0125】

【数 5】

$$T_{ph} : T_{pl} = 1 / V_h : 1 / V_l$$

【0126】

以上のような高電圧モードと低電圧モードにおけるパルス幅時間の制御を示すタイムチャートを図 4 に示す。なお、図 4 は電流変化量 Δi_L を増加させる際のタイムチャートである。

【0127】

図 4 において、高電圧モードにおける制御は、トランジスタ 261、261 が加わった以外は、従来（図 9）と同様であるので省略する。

一方、低電圧モードにおける制御では、高電圧モードのパルス幅時間 T_{ph1} よりも長いパルス幅時間 T_{ph2} だけ、トランジスタ 162、261 等を on にしている。

そのため、低電圧モードにおいても、制御サイクル T_s 内で、高電圧モードにおける電流変化量 Δi_L と同じ量だけ電磁石電流 i_L を変化させることができる。

【0128】

このことにより、回転体 103 の位置制御を高速かつ強い力で行う場合以外は

、低電圧電源 271 を用いて回転体 103 の位置制御を行うことが可能であるため、電磁石巻線 151 から発生する電氣的・磁氣的なノイズを低減することができる。従って、この電氣的・磁氣的なノイズに伴う回転体 103 の振動を防ぐことが可能となる。そして、回転体 103 の振動を防止できるため、（通常）ターボ分子ポンプ 100 とチャンバとの間に介在される振動吸収用のダンパを省略でき、ターボ分子ポンプ 100 等のコストを下げることができる。

【0129】

さらに、電磁石巻線 151 から発生する電氣的・磁氣的なノイズを低減することができるため、ターボ分子ポンプ 100 から直接的にチャンバに伝わる電氣的・磁氣的なノイズも低減することができ、半導体の製造や電子顕微鏡の測定等への悪影響を避けることが可能となる。

【0130】

その一方で、従来と同様に、高電圧電源 171 から電磁石巻線 151 への電力の供給（あるいは電流の回生）が可能であるため、高速かつ強い力での回転体 103 の位置制御が可能となる。

【0131】

なお、本実施形態においては、電磁石電流 i_L の大きさに基づいて、高電圧モードと低電圧モードとの間の遷移を行うとして説明したが、これに限られず、電磁石巻線 151 の磁束の大きさに基づいて、遷移を行っても良い。

この際、電磁石巻線 151 の両端の電圧を検出する電圧検出回路（図示略）を接続し、この電圧検出回路で検出した電圧と、電流検出回路 181 で検出した電磁石電流 i_L の大きさから、アンプ制御回路 291 等において電磁石巻線 151 の磁束を検出すれば良い。

そして、この磁束の大きさから、磁束の変化速度を検出したり、その平均値を検出しても良いし、あるいは制御サイクル T_s 毎の磁束の変化量を検出したり、その平均値を検出しても良い。

【0132】

また、本実施形態においては、図 3 におけるステップ 503 の分岐は、「電流変化速度 $d i_L / d t$ が基準電流変化速度 $d i_{Ls} / d t$ 以上か否か」に基づく

ものであるとして説明したが、これに限られない。

すなわち、ターボ分子ポンプ100やチャンバが外乱を受け難い環境に配設されているときには、回転体103の加速中の共振点通過時の振動が抑えられれば十分であるため、そのときだけ高電圧モードに切り替えても良い。

【0133】

この場合、回転体103の共振点を生じる回転数（以下、共振点回転数という）は、各ターボ分子ポンプやその回転体103毎に一定であるため、この共振点回転数を予め測定等することにより、これを検知することができる。

従って、例えば共振点回転数が6000rpmであるときには、回転体103の回転の開始から、この共振点回転数を十分に超えるまで（例えば、10000rpm程度まで）高電圧モードで動作させれば良い。また、この場合、回転体103の回転の開始から高電圧モードにせずに、この共振点回転数の手前から（例えば、2000rpm程度から）高電圧モードに切り替えても良い。

【0134】

そのため、ステップ503の分岐は、「回転体103の回転数が、共振点回転数を十分に超えたか（あるいは十分に手前か）否か」に基づくものになる。

このことにより、高速かつ強い力での回転体103の位置制御を必要とする場合だけ高電圧モードで動作させ、これ以外は低電圧モードで動作させることで、ターボ分子ポンプ100や制御装置で消費する電力を小さくすることができる。

【0135】

さらに、ステップ503の分岐は、上記の共振点回転数に基づく分岐以外であっても良い。

すなわち、チャンバ内で行われる半導体の製造や電子顕微鏡の測定等の作業内容に応じて、高電圧モードにするか低電圧モードにするかを切り替えても良い。

この場合、ターボ分子ポンプ100やその制御装置等に、低振動運転を行う旨の命令を伝えるためのボタン（以下、低振動運転ボタンという）が取り付けられていれば良い。

【0136】

従って、例えばチャンバ内で半導体ウェハへの紫外線照射を行う際には、ター

ボ分子ポンプ100から生じる振動等を極力抑える必要があるため、低振動運転ボタンを押せば良い。また、これと同様に、チャンバ内で電子顕微鏡による測定で電子ビームを照射する際にも、低振動運転ボタンを押せば良い。

【0137】

一方、紫外線照射の際や電子ビームの照射の際以外では、チャンバ等が振動して、ターボ分子ポンプ100に外乱として作用するおそれがあるため、この間は、低振動運転ボタンを解除して、回転体103の制御を高電圧モードで行わせるようにすれば良い。

【0138】

そのため、ステップ503の分岐は、「低振動運転ボタンが押されたか否か」に基づくものになる。もちろん、チャンバ側から上記のような低振動運転を必要とする状態に入ったか否かを示す信号を出力し、制御装置等で自動で「チャンバ内における作業内容が低振動運転を必要とするか否か」を判断しても良い。

【0139】

このことにより、低振動運転を必要とする状態では低電圧モードで動作させ、これ以外の外乱が生じ得る状態では高電圧モードで動作させることで、突然外乱が発生しても、回転体103を保護することができる。

さらに、ステップ503における分岐は、基準電流変化速度 $d i L s / d t$ や共振点回転数、チャンバ内における作業内容を組み合わせた条件であっても良い。

【0140】

さらに、本実施形態においては、電源として、高電圧電源171と低電圧電源271との2種類の電源を用いているが、これに限られず、3種類以上の電源を用いても良い。

このことにより、高電圧モードや低電圧モードだけでなく、これらの中間のモードも設定することが可能となる。さらに、これに加えて、高電圧モードよりもさらに高速かつ強い力で回転体103の位置制御が可能なモードや、低電圧モードよりもさらに低振動なモード等も設定可能となる。

【0141】

次に、本発明の第2の実施形態について説明する。

第2実施形態であるアンプ回路は、第1実施形態であるアンプ回路の別例である。

本発明の第2実施形態であるアンプ回路の回路図を図5に示す。なお、図1、図8と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

図5において、トランジスタ161のダイオードのカソード端子161aは、従来のアンプ回路150と異なり、トランジスタ361及びダイオード365に接続されている。

【0142】

このとき、トランジスタ361は、そのソースドレイン間にダイオードが接続されたパワーMOSFETとなっている。そして、トランジスタ361は、そのダイオードのカソード端子361aが高電圧電源171の正極171aに接続されるとともに、そのアノード端子361bがトランジスタ161に接続されるようになっている。また、ダイオード365は、そのアノード端子365bが低電圧電源271の正極271aに接続されるとともに、そのカソード端子365aがトランジスタ161に接続されるようになっている。

一方、ダイオード166のカソード端子166aは、従来のアンプ回路150と異なり、トランジスタ362及びダイオード366に接続されている。

【0143】

このとき、トランジスタ362も、そのソースドレイン間にダイオードが接続されたパワーMOSFETとなっている。そして、トランジスタ362は、そのダイオードのアノード端子362bが低電圧電源271の正極271aに接続されるとともに、そのカソード端子362aがダイオード166に接続されるようになっている。また、ダイオード366は、そのカソード端子366aが高電圧電源171の正極171aに接続されるとともに、そのアノード端子366bがダイオード166に接続されるようになっている。

【0144】

以上のように構成されるアンプ回路350は、第1実施形態と同様に、他の電磁石105、106A、106Bについても同様のアンプ回路350が構成され

るようになっている。

【0145】

また、アンプ制御回路391も、第1実施形態と同様に、DSP部内の回路であり、トランジスタ161、162、361、362のon/offを切り替え可能となっている。この際、アンプ制御回路391からは、制御サイクルTs内にパルス幅時間Tp1、Tp2を有するゲート駆動信号191a、191b、391a、391bを、トランジスタ161、162、361、362に出力するようになっている。さらに、アンプ制御回路391には、第1実施形態と同様に、アンプ回路350における高電圧モードと低電圧モードとの間の切り替えを行うためのモード切替信号292が入力されるようになっている。

【0146】

なお、高電圧電源171の正極171aや、低電圧電源271の正極271aには、第1実施形態と同様に、過電流保護装置や過電圧保護装置が配設されることが望ましい（図示略）。

また、トランジスタ362に関しては、第1実施形態のトランジスタ262と同様に、アンプ回路350内を回生する電流を低電圧電源271の正極271a側に転送する必要があるため、電圧V1よりも高い電圧（例えば、30V程度）がゲート端子に印加されることが望ましい。

【0147】

さらに、トランジスタ361、362及びダイオード365、366は、トランジスタ161やダイオード166に電力を供給するノード（図中、それぞれノードA、Bとする）であるため、全てのアンプ回路350に対して共通に（1セットだけ）配設されることが望ましい。これにより、トランジスタ361、362及びダイオード365、366の数を減らすことができる。ただし、トランジスタ361、362やダイオード365、366は、全てのアンプ回路350への電力供給源となるため、ある程度サイズ（トランジスタであればチャンネル幅、ダイオードであれば接合面積）を大きくしておくことが望ましい。

【0148】

かかる構成において、電磁石巻線151は、第1実施形態と同様に、高電圧電

源 171 から電力が供給等される場合（以下、高電圧モードという）と、低電圧電源 271 から電力が供給等される場合（以下、低電圧モードという）とに切り替えられる。

【0149】

これら両モードにおける電磁石電流 i_L の制御の仕方について説明する。この電磁石電流の制御の仕方を示した図を図 6 に示す。

図 6 において、高電圧モードで、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を増加させたいときには、パルス幅時間 T_{p1} に相当する時間分だけ、トランジスタ 161、162、361 を on にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、正極 171a から負極 171b へ、トランジスタ 361、161、162 を介して流し得る電流値 i_{Lmax} に向かって増加する。

【0150】

このとき、ダイオード 365 のアノード端子 365b は、低電圧電源 271 に接続されているため、トランジスタ 361 を介した電圧 V_h が、ダイオード 365 を介して正極 271a に印加されることはない。また、これと同様に、ダイオード 166 のアノード端子 166b 側は、およそ 0V に近いので、ダイオード 166 を介して、電磁石巻線 151 を経由した電流が低電圧電源 271 側に流れ込むこともない。

【0151】

一方、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を減少させたいときには、パルス幅時間 T_{p2} に相当する時間分だけ、トランジスタ 161、162、362 を off にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、負極 171b から正極 171a へ、ダイオード 165、166、ダイオード 366 を介して回生し得る電流値 i_{Lmin} に向かって減少する。

【0152】

このとき、トランジスタ 161、162 を off にすることにより、従来と同様に電流が回生し得る状態にするとともに、トランジスタ 362 を off にすることにより、このトランジスタ 362 を介して、（回生する電流の）高電圧が低電圧電源 271 側に印加されることがなくなる。

【0153】

さらに、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を一定に保ちたいときには、例えば、トランジスタ 162 を on にして、トランジスタ 161 を off にする。あるいはトランジスタ 161、361 を on にして、トランジスタ 162、362 を off にする。そのため、この期間中は、従来と同様に、アンプ回路 350 にフライホイール電流が保持される。

【0154】

これに対し、低電圧モードで、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を増加させたいときには、パルス幅時間 T_{p1} に相当する時間分だけ、トランジスタ 161、162 を on にして、トランジスタ 361 を off にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、低電圧電源 271 の正極 271a から負極 271b へダイオード 365、トランジスタ 161、162 を介して流し得る電流値 i_{Lmax} に向かって増加する。

【0155】

このとき、トランジスタ 361 を off にしているため、高電圧電源 171 からではなく低電圧電源 271 から、電磁石巻線 151 に電力が供給されるようになる。また、ダイオード 366 のカソード端子 366a が正極 171a に接続されているため、このダイオード 366 を介して、電磁石巻線 151 を介した電流が高電圧電源 171 側に流れ込むこともなくなる。

【0156】

一方、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を減少させたいときには、パルス幅時間 T_{p2} に相当する時間分だけ、トランジスタ 362 を on にして、トランジスタ 161、162 を off にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、低電圧電源 271 の負極 271b から正極 271a へ、ダイオード 165、166、トランジスタ 362 を介して回生し得る電流値 i_{Lmin} に向かって減少する。

【0157】

このとき、トランジスタ 161、162 を off にすることで、高電圧モードと同様に電流が回生し得る状態になるとともに、トランジスタ 362 を on にす

ることで、低電圧電源 271 への回生の経路を確保している。なお、ダイオード 366 のカソード端子 366a が高電圧電源 171 に接続されているため、回生する電流が高電圧電源 171 へ流れることはない。

【0158】

さらに、電磁石巻線 151 に流れる電磁石電流 i_L を一定に保ちたいときには、例えば、トランジスタ 162 を on にして、トランジスタ 161 を off にする。あるいはトランジスタ 161、362 を on にして、トランジスタ 162、361 を off にする。そのため、この期間中は、従来と同様に、アンプ回路 350 にフライホイール電流が保持される。

【0159】

以上のように、トランジスタ 161、162、361、362 を制御することによっても、高電圧モードでは、高電圧電源 171 から低電圧電源 271 への貫通電流を防ぎつつ、従来と同様に、高電圧電源 171 から電磁石巻線 151 への電力の供給（あるいは電流の回生）が可能になる。さらに、低電圧モードでは、低電圧電源 271 から電磁石巻線 151 への電力の供給（あるいは電流の回生）が可能になる。

【0160】

なお、以上のような高電圧モードと低電圧モードとの間の遷移に関して、両モードの切り替え動作や、両モードへの切り替えの後のパルス幅時間 T_p の決定の仕方については、第 1 実施形態と同様であるので、説明は省略する。

このことにより、第 1 実施形態と異なる構成を採用しても、第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0161】

従って、アンプ回路の設計において、設計容易な回路構成を選択可能となる。また、アンプ回路の制御においても、制御容易な回路を選択可能となる。

さらに、全てのアンプ回路 350 に対して、ノード A 及びノード B を共通にして構成できるため、トランジスタ等の素子数を減らすことができる。

【0162】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、電磁石への励磁駆動に際し、第1の電源とこの第1の電源より低い電位を発生する第2の電源とが、所定の動作モードに応じて選択されるように構成したので、高速かつ強い力で回転体の位置制御を可能にしつつ、ポンプ装置から生じる振動を低減し、かつポンプ装置から生じる電氣的・磁氣的なノイズを減らすことができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】 本発明の第1実施形態のアンプ回路の回路図
- 【図2】 電磁石電流の制御の仕方
- 【図3】 モードの切り替え動作を示したフローチャート
- 【図4】 パルス幅時間の制御を示すタイムチャート
- 【図5】 本発明の第2実施形態のアンプ回路の回路図
- 【図6】 電磁石電流の制御の仕方
- 【図7】 ターボ分子ポンプの縦断面図
- 【図8】 従来のアンプ回路の回路図
- 【図9】 電流指令値が検出値より大きい場合の制御を示すタイムチャート
- 【図10】 電流指令値が検出値より小さい場合の制御を示すタイムチャー

ト

【符号の説明】

- 100 ターボ分子ポンプ
- 103 回転体
- 104 上側径方向電磁石
- 105 下側径方向電磁石
- 106A、160B 軸方向電磁石
- 107 上側径方向センサ
- 108 下側径方向センサ
- 109 軸方向センサ
- 150、250、350 アンプ回路
- 151 電磁石巻線
- 161、162、261、262、361、362 トランジスタ

1 6 5、1 6 6、2 6 5、2 6 6、3 6 5、3 6 6 ダイオード

1 7 1 高電圧電源

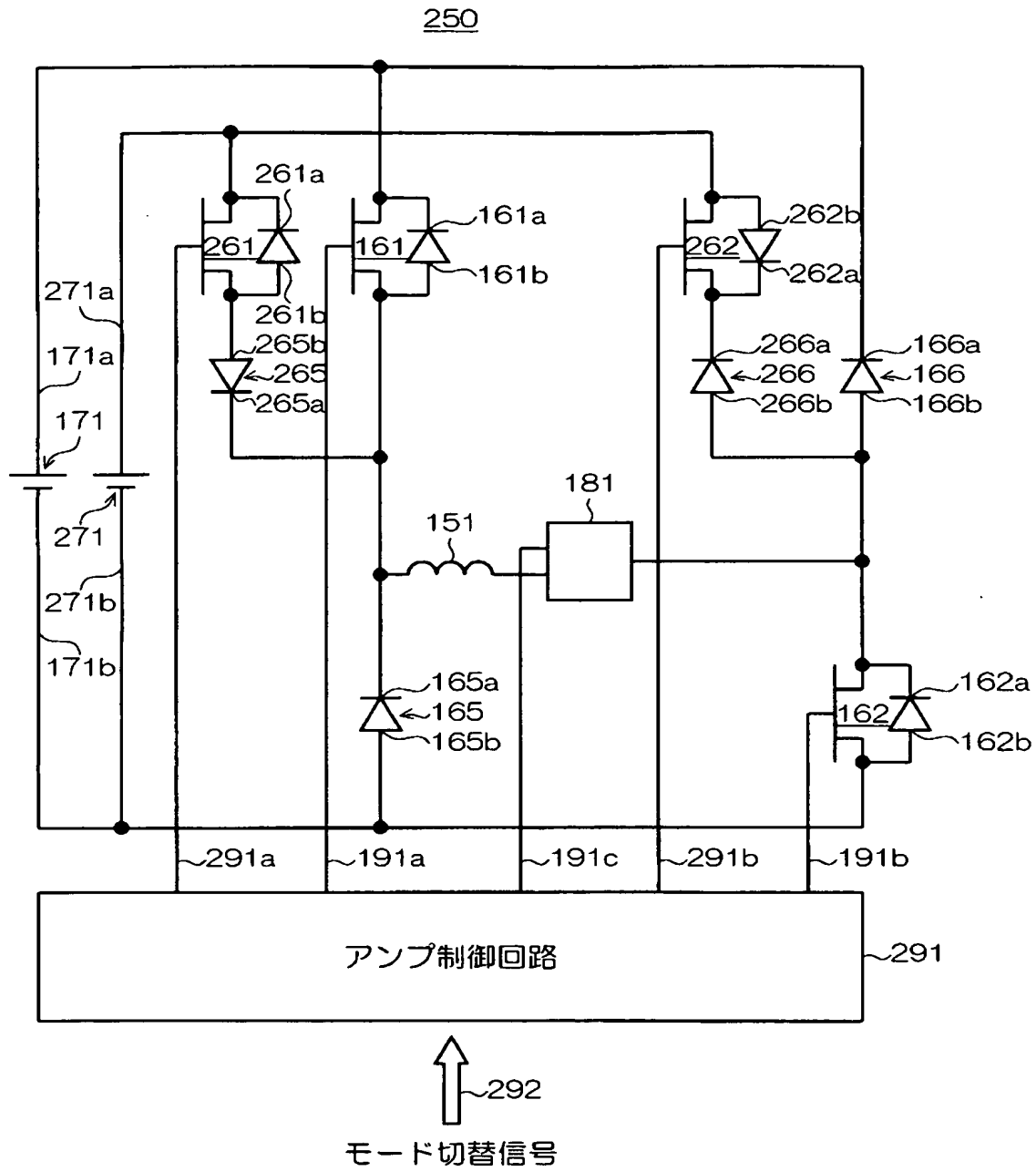
1 8 1 電流検出回路

1 9 1、2 9 1、3 9 1 アンプ制御回路

2 7 1 低電圧電源

【書類名】 図面

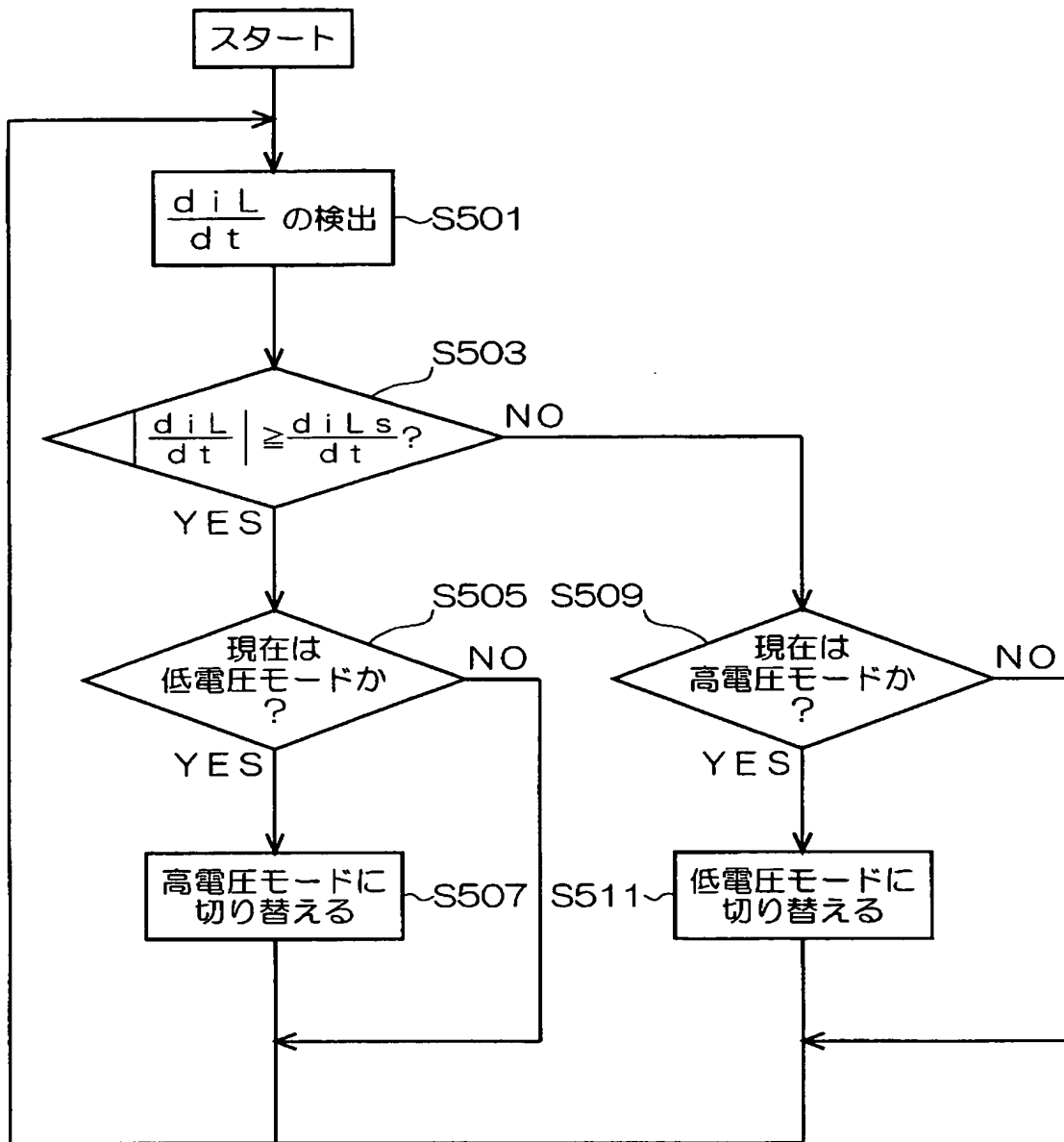
【図 1】



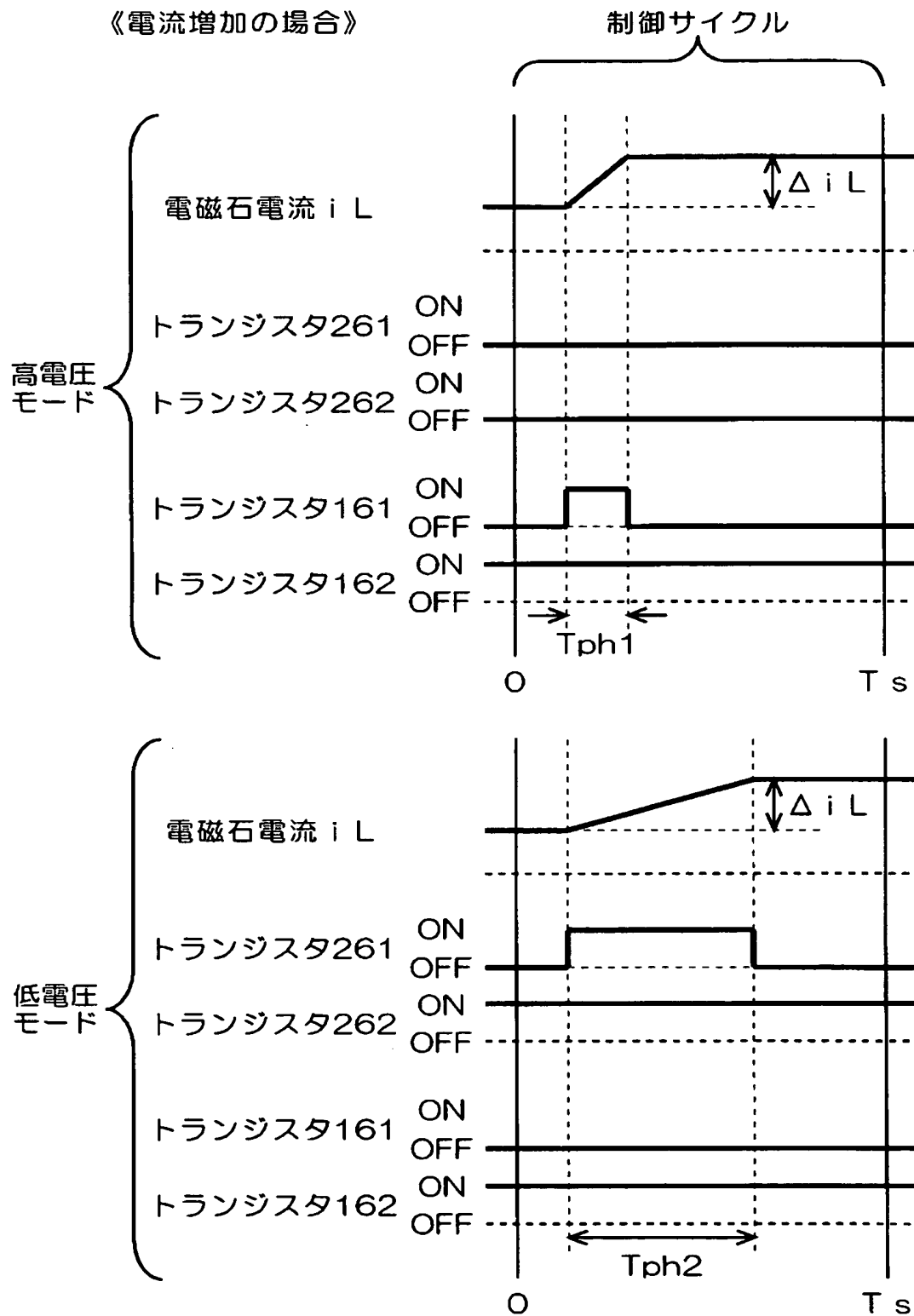
【図 2】

電磁石巻線が 接続される電源	電磁石電流 i_L	トランジスタ			
		261	262	161	162
高電圧電源 (高電圧モード)	増加	(off)	(off)	on	on
	減少	off	off	off	off
	一定	off	(off)	off	on
		(off)	off	on	off
低電圧電源 (低電圧モード)	増加	on	(on)	off	on
	減少	off	on	off	off
	一定	off	(on)	off	on
		on	on	off	off

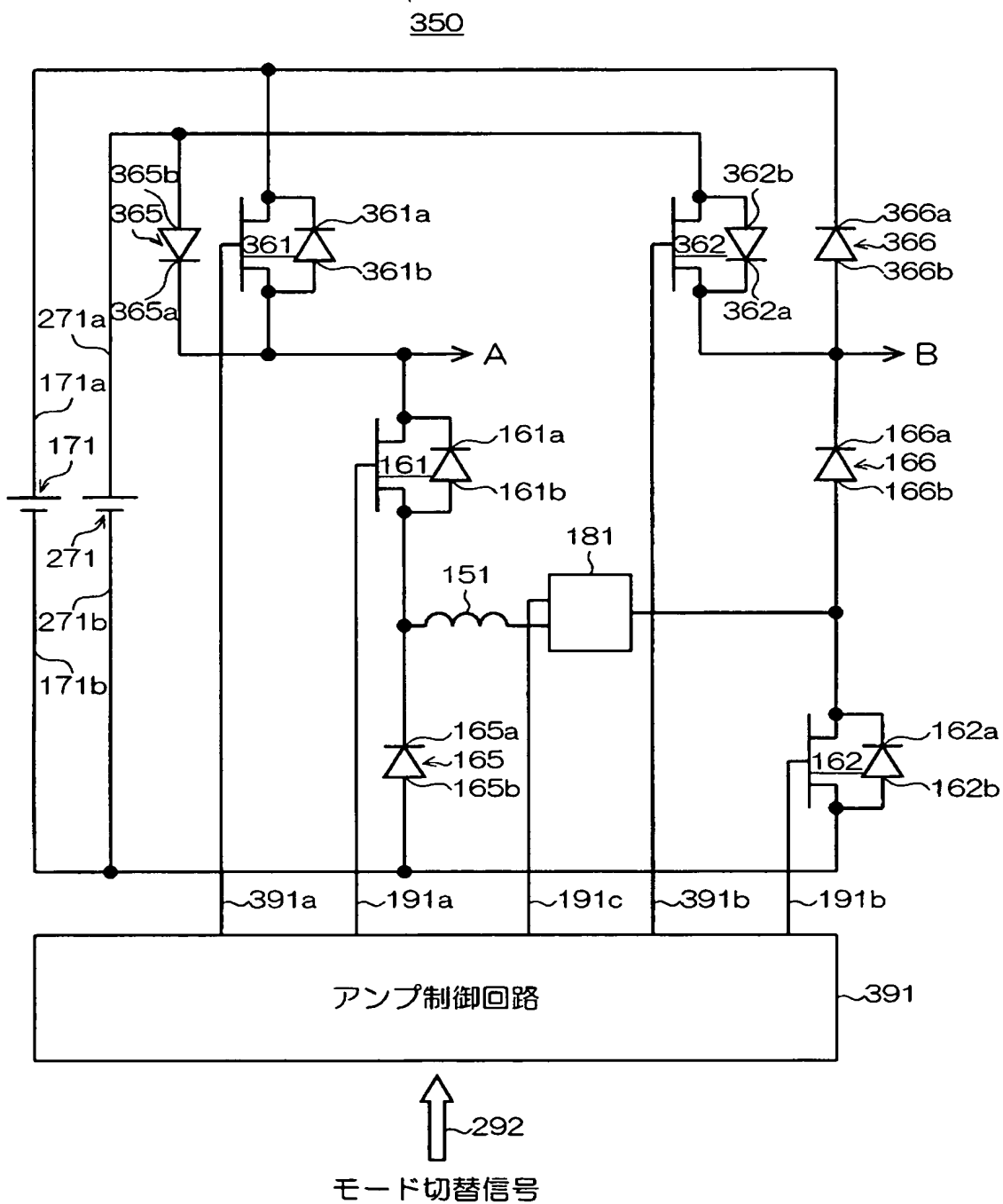
【図 3】



【図 4】



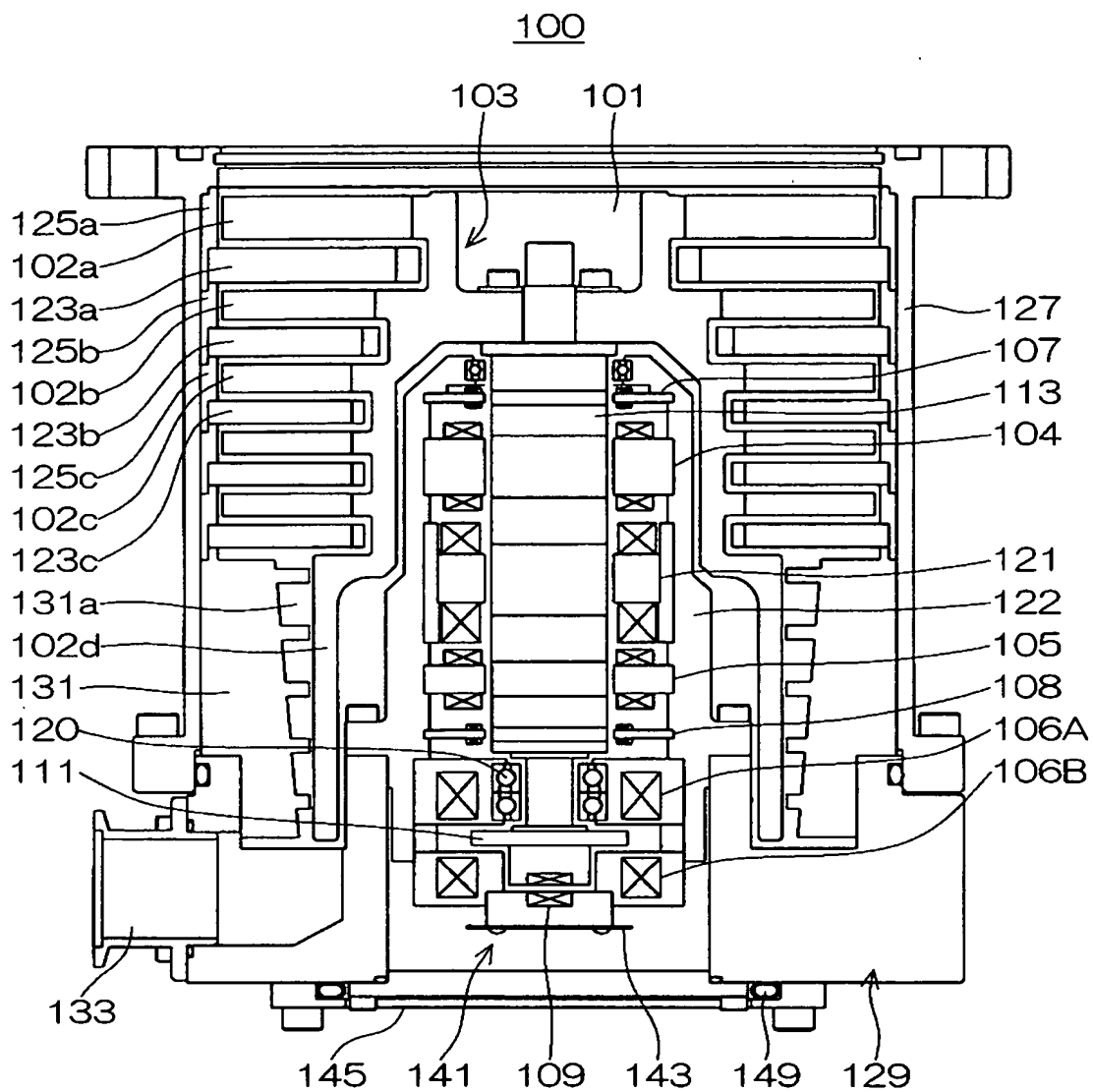
【図 5】



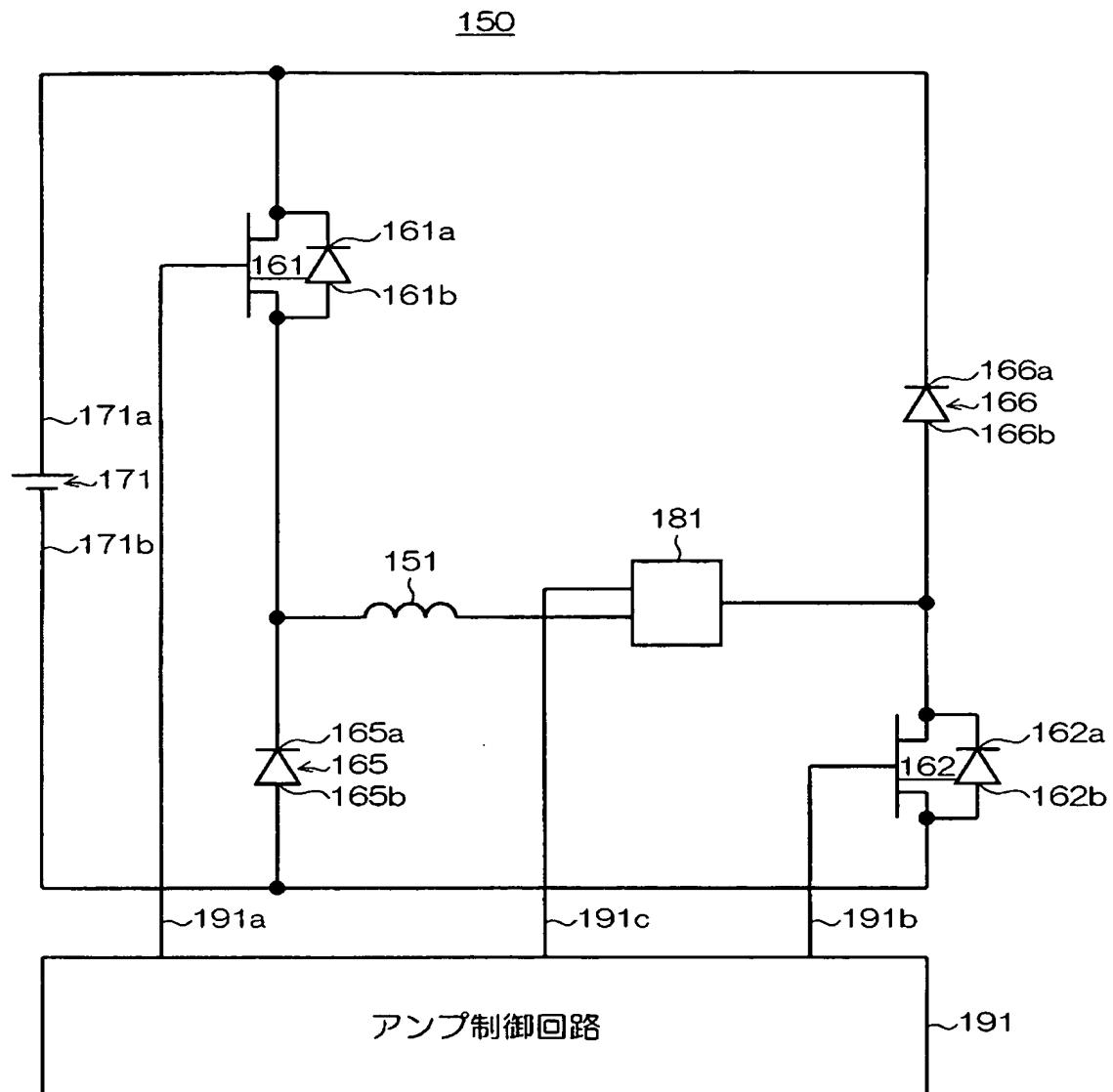
【図 6】

電磁石巻線が 接続される電源	電磁石電流 i_L	トランジスタ			
		361	362	161	162
高電圧電源 (高電圧モード)	増加	on	(off)	on	on
	減少	(on)	off	off	off
	一定	(on)	(off)	off	on
		on	off	on	off
低電圧電源 (低電圧モード)	増加	off	(on)	on	on
	減少	(off)	on	off	off
	一定	(off)	(on)	off	on
		off	on	on	off

【図 7】

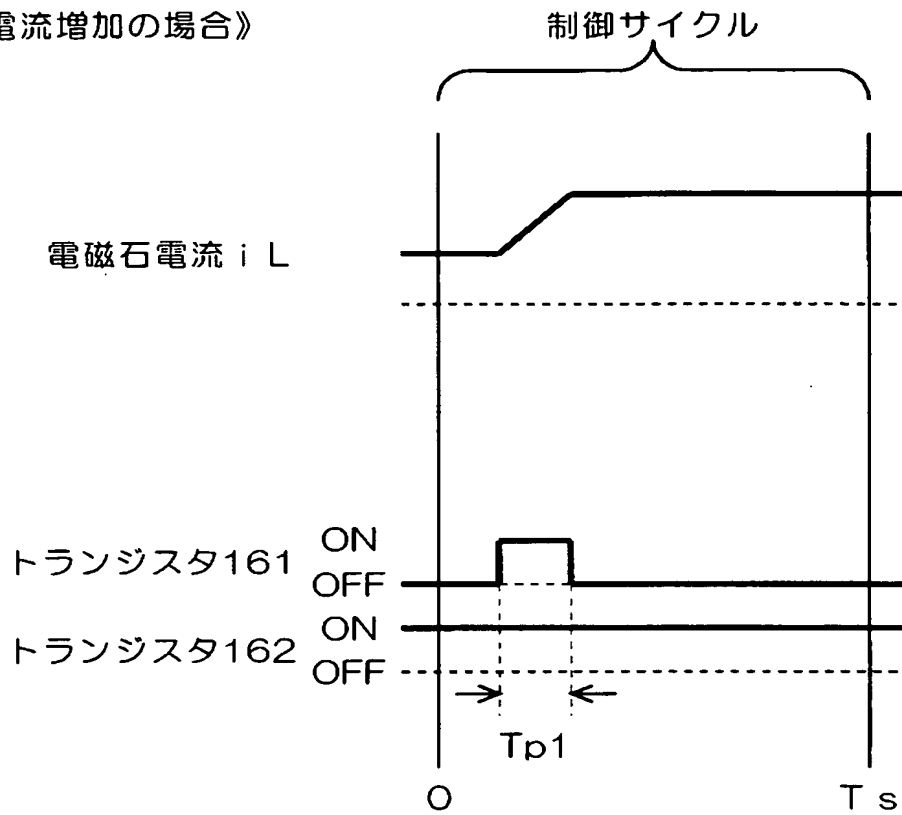


【図 8】



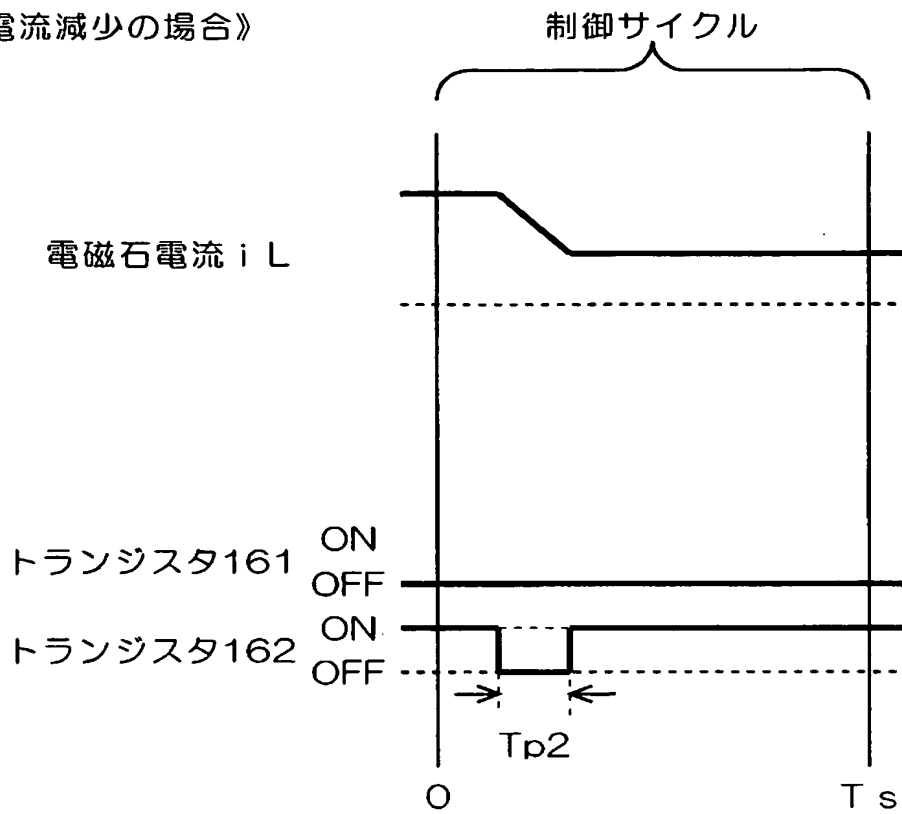
【図 9】

《電流増加の場合》



【図 10】

《電流減少の場合》



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高速かつ強い力で回転体の位置制御を可能にしつつ、ポンプ装置から生じる振動を低減し、かつポンプ装置から生じる電氣的・磁氣的なノイズを減らすことのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したポンプ装置を提供する。

【解決手段】 電磁石巻線 151 は、高電圧電源 171 から電力が供給等される高電圧モードと、低電圧電源 271 から電力が供給等される低電圧モードとに切り替えられる。この切り替えは、電流変化速度 diL/dt が、基準電流変化速度 diL_s/dt 以上か否かにより判断され、基準電流変化速度 diL_s/dt 以上であるときには高電圧モードに切り替えられ、基準電流変化速度 diL_s/dt 未満であるときには低電圧モードに切り替えられる。

【選択図】 図 3

【書類名】 出願人名義変更届 (一般承継)
【提出日】 平成16年 1月 8日
【あて先】 特許庁長官殿
【事件の表示】
【出願番号】 特願2003- 75303
【承継人】
【住所又は居所】 東京都港区芝公園二丁目 4 番 1 号 秀和芝パークビル
【氏名又は名称】 BOCエドワーズ株式会社
【代表者】 松葉 直樹
【承継人代理人】
【識別番号】 100105201
【弁理士】
【氏名又は名称】 椎名 正利
【提出物件の目録】
【物件名】 登記簿謄本 1
【援用の表示】 特許第 1 9 2 2 5 7 1 号について平成 1 6 年 1 月 7 日付で提出した特許権移転登録申請書に添付のものを援用する。
【物件名】 委任状 1
【援用の表示】 平成 5 年特許願第 1 1 7 1 9 5 号について平成 1 6 年 1 月 8 日付で提出した手続補足書に添付のものを援用する。

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-075303
受付番号	50400023053
書類名	出願人名義変更届 (一般承継)
担当官	小暮 千代子 6390
作成日	平成 16 年 4 月 9 日

<認定情報・付加情報>

【承継人】

【識別番号】	598021579
【住所又は居所】	東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 秀和芝パークビル A-3F
【氏名又は名称】	B O C エドワーズ株式会社
【承継人代理人】	申請人
【識別番号】	100105201
【住所又は居所】	東京都中央区八丁堀 4 丁目 10 番 9 号 林ビル 2 階 椎名国際特許事務所
【氏名又は名称】	椎名 正利

特願 2 0 0 3 - 0 7 5 3 0 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [5 0 2 1 0 9 6 1 4]

1. 変更年月日 2 0 0 2 年 6 月 2 1 日

[変更理由] 名称変更

住所変更

住 所 千葉県習志野市屋敷 4 - 3 - 1

氏 名 ビーオーシーエドワーズテクノロジーズ株式会社

特願 2003-075303

出願人履歴情報

識別番号

[598021579]

1. 変更年月日
[変更理由]
住所
氏名

1998年 2月17日
新規登録
東京都港区芝公園2丁目4番1号
日本エドワーズ株式会社

2. 変更年月日
[変更理由]
住所
氏名

2003年 5月22日
住所変更
東京都港区芝公園2丁目4番1号 秀和芝パークビルA-3F
日本エドワーズ株式会社

3. 変更年月日
[変更理由]
住所
氏名

2003年12月17日
名称変更
東京都港区芝公園2丁目4番1号 秀和芝パークビルA-3F
BOCエドワーズ株式会社